



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

### **“AUTOMATIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN, CLORACIÓN Y MONITOREO DE NIVELES DE AGUA, CLORO Y OXÍGENO DEL AGUA POTABLE DEL CASERÍO MOLLEPAMBA”**

**PILATAXI CONTRERAS GABRIEL ISRAEL  
SANTOS ZAMBRANO JONATHAN JAVIER**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN** **TIPO: PROYECTOS TECNOLÓGICOS**

**Previa a la obtención del Título de:**

## **INGENIERO INDUSTRIAL**

**Riobamba–Ecuador  
2017**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

**2016-11-11**

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

PILATAXI CONTRERAS GABRIEL ISRAEL

Titulado:

**“AUTOMATIZACIÓN E IPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
RECOLECCIÓN, CLORACIÓN Y MONITOREO DE NIVELES DE AGUA,  
CLORO Y OXÍGENO DEL AGUA POTABLE DEL CASERÍO  
MOLLEPAMBA”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos  
**DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

Ing. Juan Carlos Cayán Martínez  
**ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

**2016-11-11**

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

SANTOS ZAMBRANO JONATHAN JAVIER

Titulado:

**“AUTOMATIZACIÓN E IPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
RECOLECCIÓN, CLORACIÓN Y MONITOREO DE NIVELES DE AGUA,  
CLORO Y OXÍGENO DEL AGUA POTABLE DEL CASERÍO  
MOLLEPAMBA”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos  
**DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

Ing. Juan Carlos Cayán Martínez  
**ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** PILATAXI CONTRERAS GABRIEL ISRAEL

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** “AUTOMATIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN, CLORACIÓN Y MONITOREO DE NIVELES DE AGUA, CLORO Y OXÍGENO DEL AGUA POTABLE DEL CASERÍO MOLLEPAMBA”

**Fecha de Examinación:** 2017-11-17

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Juan Carlos Cayán Martínez <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** SANTOS ZAMBRANO JONATHAN JAVIER

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** “AUTOMATIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN, CLORACIÓN Y MONITOREO DE NIVELES DE AGUA, CLORO Y OXÍGENO DEL AGUA POTABLE DEL CASERÍO MOLLEPAMBA”

**Fecha de Examinación:** 2017-11-17

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Juan Carlos Cayán Martínez <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Nosotros, PILATAXI CONTRERAS GABRIEL ISRAEL y SANTOS ZAMBRANO JONATHAN JAVIER, egresados de la Carrera de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, autores del trabajo de titulación denominado **“AUTOMATIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN, CLORACIÓN Y MONITOREO DE NIVELES DE AGUA, CLORO Y OXÍGENO DEL AGUA POTABLE DEL CASERÍO MOLLEPAMBA”**, nos responsabilizamos en su totalidad del contenido en su parte intelectual y técnica, y me someto a cualquier disposición legal en caso de no cumplir con este precepto.

---

**Pilataxi Contreras Gabriel Israel**  
Cédula de Identidad: 180464273-2

---

**Santos Zambrano Jonathan Javier**  
Cédula de Identidad: 060232299-0

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Pilataxi Contreras Gabriel Israel Y Santos Zambrano Jonathan Javier, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Pilataxi Contreras Gabriel Israel**

Cédula de Identidad: 180464273-2

---

**Santos Zambrano Jonathan Javier**

Cédula de Identidad: 060232299-0

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo representa la materialización de mi sueño de vida y el esfuerzo constante de estos últimos años, por lo que me es grato dedicarlo a mis padres Cesar y Hortencia a mi hermano Mauricio y abuelita Adelaida porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona a Dios por las bendiciones derramadas en mí y mi familia. Y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para cumplir con mis objetivos.

**Pilataxi Contreras Gabriel Israel**

Dedico este trabajo primeramente a dios por darme fuerzas para seguir adelante y ayudarme a levantarme en los problemas que se presentaron hasta llegar a este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi padre Eduardo Santos por darme su apoyo durante mis estudios y por ser un hombre de lucha quien se ha esforzado al guiarme por un camino de bien, enseñándome buenos valores para cumplir mis objetivos y que desde el cielo me brinda luz y fuerzas para seguir adelante, su mayor deseo era tener un hijo profesional.

A mi madre María del Pilar Zambrano que es lo más grande que tengo en la vida, que ha velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento.

A mi esposa Jesica Negrete por apoyarme en las dificultades y creer en mí, muchas gracias por todo el apoyo y la paciencia que me has brindado.

A mi hija Ariana por ser mi fuente de superación en la vida para seguir adelante y que con tu sonrisa que me ilumina cada día me dará fuerzas para superarme cada día.

A mis hermanos Sofia y Mauricio gracias por apoyarme siempre y a toda mi familia que de una y otra forma me brindan amor.

**Santos Zambrano Jonathan Javier**



## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela de Ingeniería Industrial de la ESPOCH y a sus docentes, por permitirme formarme y obtener mi título profesional y ser una persona útil para la sociedad.

Y en especial para mis padres, hermano y abuelita por ser los impulsores para culminar esta meta de manera exitosa.

Además, a la comunidad Mollepamba por la colaboración para la elaboración de este proyecto en especial al presidente de la junta administradora de agua potable.

**Pilataxi Contreras Gabriel Israel**

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

Un agradecimiento al Ing. Jonny Orozco, director del presente trabajo y al Ing. Juan Carlos Cayán, asesor del mismo gracias por el asesoramiento y dirección para la culminación de este trabajo de titulación.

Además, a la comunidad Mollepamba por la colaboración para la elaboración de este proyecto.

Quiero Agradecer a todas las personas que forman parte de mi vida, por sus consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, quiero darles las gracias por todo lo que me han brindado y por su apoyo incondicional.

**Santos Zambrano Jonathan Javier**

## CONTENIDO

Pág.

### RESUMEN

### ABSTRACT

### CAPÍTULO I

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1	Antecedentes .....	2
1.2	Planteamiento del problema.....	3
1.3	Justificación .....	4
1.3.1	<i>Justificación teórica.....</i>	<i>4</i>
1.3.2	<i>Justificación metodológica. ....</i>	<i>4</i>
1.3.3	<i>Justificación práctica.....</i>	<i>4</i>
1.4	Objetivos .....	5
1.4.1	<i>Objetivo general. ....</i>	<i>5</i>
1.4.2	<i>Objetivos específicos: .....</i>	<i>5</i>

### CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1	Sistemas de suministro de agua potable .....	6
2.2	Proceso de tratamiento del agua potable.....	7
2.3	Desinfección en el proceso de tratamiento del agua potable .....	7
2.4	Métodos de desinfección .....	8
2.5	Factores que afectan la eficiencia de un desinfectante químico .....	9
2.6	Cloración de agua potable.....	11
2.6.1	<i>El cloro y sus derivados.....</i>	<i>11</i>
2.6.2	<i>Demanda de cloro.....</i>	<i>12</i>
2.6.3	<i>Determinación del cloro. ....</i>	<i>14</i>
2.6.4	<i>Control de la cloración.....</i>	<i>15</i>
2.6.5	<i>Protocolo de cloración. ....</i>	<i>16</i>
2.6.6	<i>Tipos de equipos de cloración. ....</i>	<i>17</i>
2.6.7	<i>Puntos de aplicación del cloro. ....</i>	<i>18</i>
2.6.8	<i>Cálculo para la dosificación de un hipoclorador.....</i>	<i>18</i>
2.6.9	<i>Cloro residual. ....</i>	<i>19</i>

2.7	Enfermedades de origen hídrico .....	19
2.8	Efectos en la salud .....	20
2.9	Automatización.....	20
2.9.1	<i>Elementos de un sistema automatizado.</i> .....	21
2.9.2	<i>Objetivos de la automatización</i> .....	22
2.9.3	<i>Sistemas automatizados de cloración.</i> .....	22

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>SITUACIÓN ACTUAL, DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS PARA EL SISTEMA DE CLORADO AUTOMÁTICO.....</b>	<b>24</b>
3.1	Situación actual.....	24
3.1.1	<i>Datos generales del lugar</i> .....	24
3.1.2	<i>Sistema de distribución y clorado actual.</i> .....	25
3.1.3	<i>Importancia de cloración en el agua.</i> .....	26
3.1.4	<i>Socialización con el caserío sobre la implementación de un sistema de clorado automático.</i> .....	27
3.2	Diseño del sistema automatizado de clorado .....	27
3.3	Selección del sistema de clorado y dosificador .....	28
3.3.1	<i>Selección del sistema de clorado.</i> .....	29
3.3.2	<i>Selección de dosificador.</i> .....	32
3.4	Funcionamiento del sistema de cloración y selección de elementos para automatizar y monitorear el sistema de clorado .....	34
3.4.1	<i>Selección de elementos para automatizar el sistema de cloración.</i> .....	35
3.4.2	<i>Selección de elementos para monitorear el sistema de cloración automatizado.</i> .....	47
3.4.3	<i>Selección de elementos para monitorear las pastillas del sistema de cloración automatizado.</i> .....	54

### **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE CLORADO AUTOMATIZADO .....</b>	<b>57</b>
4.1	Implementación del sistema automatizado de clorado. ....	57
4.1.1	<i>Zona de recolección.</i> .....	57
4.1.2	<i>Automatización del sistema de clorado.</i> .....	58
4.1.3	<i>Control del nivel de pastillas en el dosificador.</i> .....	67
4.1.4	<i>Sensor de control de oxígeno.</i> .....	70

4.1.5	<i>Monitoreo inalámbrico del sistema automatizado de clorado.</i>	71
4.1.6	<i>Sistema de alerta de nivel de pastillas de cloro.</i>	79

## **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>INSTALACIÓN DE CAJA DE CONTROL, CAJA DE MONITOREO Y MANUAL DE MANTENIMIENTO</b>	<b>82</b>
5.1	Diseño final del sistema de cloración automatizado	82
5.1.1	<i>Instalación de la caja de control.</i>	85
5.1.2	<i>Realización del monitoreo inalámbrico del sistema de clorado.</i>	86
5.1.3	<i>Instalación de señalética.</i>	88
5.2	Manual de mantenimiento del sistema de clorado automatizado.	89
5.2.1	<i>Operación.</i>	89
5.2.2	<i>Mantenimiento del sistema de clorado automatizado.</i>	89
5.2.3	<i>Mantenimiento del sensor ultrasónico.</i>	89
5.2.4	<i>Mantenimiento del acople al servomotor.</i>	90
5.2.5	<i>Mantenimiento de la caja de control o elemento emisor.</i>	90
5.2.6	<i>Mantenimiento en el tanque de almacenamiento.</i>	92
5.2.7	<i>Mantenimiento del elemento de monitoreo.</i>	92
5.2.8	<i>Consideraciones para el correcto funcionamiento del sistema.</i>	93
5.3	Costos de diseño y fabricación del sistema.	94
5.3.1	<i>Costos directos.</i>	94
5.3.2	<i>Costos indirectos.</i>	95
5.3.3	<i>Costo total.</i>	95

## **CAPÍTULO VI**

<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>96</b>
6.1	Conclusiones	96
6.2	Recomendaciones	96

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-3.</b> Síntomas de las principales enfermedades transmitidas por el agua. ....	26
<b>Tabla 2-3.</b> Escala de evaluación.....	28
<b>Tabla 3-3.</b> Selección de la mejor alternativa.....	31
<b>Tabla 4-3.</b> Selección de la mejor alternativa.....	33
<b>Tabla 5-3.</b> Características.....	34
<b>Tabla 6-3.</b> Selección de la mejor alternativa.....	39
<b>Tabla 7-3.</b> Característica de la válvula de globo.....	41
<b>Tabla 8-3.</b> Características Servomotor TowerPro MG996R.....	41
<b>Tabla 9-3.</b> Características Hitec HS-755HB.....	42
<b>Tabla 10-3.</b> Tabla de ponderación .....	42
<b>Tabla 11-3.</b> Selección de la mejor alternativa.....	44
<b>Tabla 12-3.</b> Características de los Arduino nano, uno, mega .....	45
<b>Tabla 13-3.</b> Tabla de ponderación .....	46
<b>Tabla 14-3.</b> Características Arduino Mega .....	46
<b>Tabla 15-3.</b> Selección de la mejor alternativa.....	50
<b>Tabla 16-3.</b> Selección de la mejor alternativa.....	54
<b>Tabla 17-3.</b> Tabla de ponderación .....	55
<b>Tabla 18-3.</b> Características tarjeta Shield sim GPRS/GSM 900.....	56
<b>Tabla 1-4.</b> Asignación de entradas y salidas del Arduino.....	62
<b>Tabla 2-4.</b> Recolección de tomas de muestras .....	66
<b>Tabla 3-4.</b> Asignación de entradas y salidas del Arduino.....	69
<b>Tabla 4-4.</b> Listado de códigos de la pantalla principal .....	76
<b>Tabla 5-4.</b> Listado de códigos de la pantalla de monitoreo .....	77
<b>Tabla 1-5.</b> Señaletica.....	88
<b>Tabla 2-5.</b> Check List.....	93
<b>Tabla 3-5.</b> Costos directos.....	94
<b>Tabla 4-5.</b> Costos Indirectos. ....	95
<b>Tabla 5-5.</b> Costos totales.....	95

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-2.</b> Sistema de suministro de agua potable rural.....	6
<b>Figura 2-2.</b> Variación de la cantidad de cloro residual en función del cloro añadido .	13
<b>Figura 3-2.</b> Determinación cloro residual, DPD .....	15
<b>Figura 4-2.</b> Hipoclorador .....	17
<b>Figura 5-2.</b> Pirámide de la automatización .....	21
<b>Figura 6-2.</b> Ejemplo de un sistema automatizado.....	23
<b>Figura 1-3.</b> Parroquia Picaihua .....	25
<b>Figura 2-3.</b> Caserío Mollepamba .....	25
<b>Figura 3-3.</b> Sistema de distribución .....	25
<b>Figura 4-3.</b> Tanque de almacenamiento.....	26
<b>Figura 5-3.</b> Socialización con habitantes del caserío.....	27
<b>Figura 6-3.</b> Sistema de cloración gaseoso.....	30
<b>Figura 7-3.</b> Impulsión de solución de cloro .....	30
<b>Figura 8-3.</b> Dosificador de hipoclorito de calcio .....	31
<b>Figura 10-3.</b> Cloración solida por erosión .....	32
<b>Figura 12-3.</b> Dosificador de pastillas Accu-tab .....	33
<b>Figura 13-3.</b> Método de medición por plomada .....	36
<b>Figura 14-3.</b> Medición de niveles por ultrasonido.....	37
<b>Figura 15-3.</b> Medición por radiación gama .....	38
<b>Figura 17-3.</b> SRF04 .....	40
<b>Figura 18-3.</b> Acople servomotor-válvula.....	40
<b>Figura 19-3.</b> Servomotor TowerPro MG996R.....	41
<b>Figura 20-3.</b> Hitec HS-755HB .....	42
<b>Figura 22-3.</b> PLC S7-1200.....	43
<b>Figura 23-3.</b> Tarjeta Arduino.....	44
<b>Figura 26-3.</b> Arduino Mega .....	46
<b>Figura 27-3.</b> Sensor de aire Mq-135 Arduino – Pic.....	47
<b>Figura 28-3.</b> Módulo bluetooth hc05 .....	48
<b>Figura 29-3.</b> Módulo de radio frecuencia nRF24L01 .....	48
<b>Figura 30-3.</b> Módulo xbee .....	49

<b>Figura 32-3.</b> LCD 1602.....	51
<b>Figura 33-3.</b> Pantalla Nextion NX3224T028.....	52
<b>Figura 34-3.</b> TFT_320QVT_9341 .....	53
<b>Figura 37-3.</b> Tarjeta Shield sim GPRS/GSM 900 .....	56
<b>Figura 1-4.</b> Cambio de tuberías .....	57
<b>Figura 2-4.</b> Instalación de tanque reservorio .....	58
<b>Figura 3-4.</b> Implementación del sistema de clorado .....	59
<b>Figura 4-4.</b> Calculo de capacidad del tanque de almacenamiento.....	60
<b>Figura 5-4.</b> Posición del sensor para el cálculo de volumen.....	61
<b>Figura 6-4.</b> Instalación del acople y montaje en el sistema .....	61
<b>Figura 7-4.</b> Diagrama de conexión .....	63
<b>Figura 8-4.</b> Conexión de elementos .....	63
<b>Figura 9-4.</b> Instalación de elementos para la automatización.....	63
<b>Figura 10-4.</b> Clorímetro y solución OTO 1 .....	65
<b>Figura 11-4.</b> Toma de muestras para medición de cloro .....	66
<b>Figura 12-4.</b> Photometro AquaPRO .....	67
<b>Figura 13-4.</b> Resultados en los puntos de muestreo .....	67
<b>Figura 14-4.</b> Pastilla falsa para marcar el nivel .....	68
<b>Figura 15-4.</b> Instalación de sensores inductivos para detección de nivel .....	68
<b>Figura 16-4.</b> Diagrama de instalación.....	69
<b>Figura 17-4.</b> Pruebas de pastilla falsa .....	70
<b>Figura 18-4.</b> Indicadores luminosos .....	70
<b>Figura 19-4.</b> Diagrama de conexión del sensor de oxígeno.....	70
<b>Figura 20-4.</b> Identificación de conexión de Xbee.....	72
<b>Figura 21-4.</b> Búsqueda del tipo de modem.....	73
<b>Figura 22-4.</b> Reconocimiento del modem Xbee .....	73
<b>Figura 23-4.</b> Configuración del PAN ID .....	74
<b>Figura 24-4.</b> Shield Xbee .....	75
<b>Figura 25-4.</b> Configuración de pantalla principal.....	76
<b>Figura 26-4.</b> Configuración de pantalla de monitoreo .....	76
<b>Figura 27-4.</b> Diagrama eléctrico del dispositivo emisor.....	78
<b>Figura 28-4.</b> Diagrama eléctrico del dispositivo receptor .....	78
<b>Figura 29-4.</b> Conexión del elemento emisor.....	79
<b>Figura 30-4.</b> Conexión del elemento receptor .....	79

<b>Figura 31-4.</b>	Diagrama eléctrico sensores de nivel-sim 900.....	80
<b>Figura 32-4.</b>	Conexión y prueba de funcionamiento .....	81
<b>Figura 1-5.</b>	Sistema de clorado automatizado.....	82
<b>Figura 2-5.</b>	Diseño del circuito electrónico del elemento emisor.....	85
<b>Figura 3-5.</b>	Montaje y acople de dispositivos electrónicos.....	85
<b>Figura 4-5.</b>	Instalación de la caja de control.....	86
<b>Figura 5-5.</b>	Diseño del circuito electrónico del elemento receptor.....	87
<b>Figura 6-5.</b>	Montaje y acople de dispositivos electrónicos.....	87
<b>Figura 7 -5.</b>	Señalética .....	88
<b>Figura 8-5.</b>	Sensor de ultrasonido .....	89
<b>Figura 9-5.</b>	Válvulas de bola y solenoides .....	90
<b>Figura 10-5.</b>	Caja de control .....	90
<b>Figura 11-5.</b>	Tanque de almacenamiento.....	92
<b>Figura 12-5.</b>	Elemento de monitoreo .....	92



## LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
<b>Gráfico 1-3.</b> Diseño del sistema automatizado de clorado .....	28
<b>Gráfico 2-3.</b> Selección del sistema de clorado .....	32
<b>Gráfico 3-3.</b> Selección del dosificador.....	33
<b>Gráfico 4-3.</b> Selección del medidor de volumen o nivel de agua .....	39
<b>Gráfico 5-3.</b> Selección del servomotor .....	42
<b>Gráfico 6-3.</b> Selección del elemento que procesara los datos.....	45
<b>Gráfico 7-3.</b> Selección del arduino .....	46
<b>Gráfico 8-3.</b> Selección del modulo para la conexión inalámbrica .....	51
<b>Gráfico 9-3.</b> Selección del elemento de visualización de datos .....	54
<b>Gráfico 10-3.</b> Selección de la placa shield GPRS .....	55
<b>Gráfico 1-4.</b> Metodología del sistema de clorado.....	58
<b>Gráfico 2-4.</b> Metodología de la función que cumple el Arduino .....	62
<b>Gráfico 1-5.</b> Diagrama de la metodología de funcionamiento del emisor .....	83
<b>Gráfico 2-5.</b> Diagrama de la metodología de funcionamiento del receptor.....	84

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

<b>PWM</b>	Modulación de ancho de pulso
<b>HMI</b>	Interfaz Hombre Máquina

## **LISTA DE ANEXOS**

- A**      Análisis de cloro residual CESTTA
- B**      Programación elemento emisor
- C**      Programación elemento receptor
- D**      Programación elemento de llamada de alerta
- E**      Socialización

## RESUMEN

El proceso de automatización de un sistema de recolección, cloración y monitoreo de niveles de agua, cloro y oxígeno del agua potable del caserío Mollepamba ubicada en la parroquia Picaihua del cantón Ambato perteneciente a la provincia de Tungurahua que cuenta con una población de 800 habitantes. Para el desarrollo del sistema automatizado de clorado, se seleccionó un sistema de dosificación por cloración sólida a través de pastillas con una concentración del 70% las cuales son diluidas gradualmente con el contacto del agua, dicho método es el más eficiente y económico del mercado. Una vez seleccionado el método de clorado se procedió a realizar el diseño base del sistema de cloración el cual inicia desde el tanque de captación hacia el tanque de almacenamiento en el cual se realiza el clorado el mismo que será monitoreado, una vez aplicada la dosificación de cloro el agua es bombeada al tanque de distribución y finalmente a los domicilios. Para la automatización del clorado se implementó un sensor ultrasónico srf04 para el cálculo de volumen de agua y un acople con él un servomotor MG996R y la válvula de globo, mismos que al medir el volumen de agua existente en el tanque de almacenamiento da el mando hacia el Arduino Mega para la apertura de la válvula de dosificación. Una vez automatizado el sistema de clorado se procedió a la implementación del monitoreo inalámbrico el cual se realizó mediante un intezfar entre módulos Xbee serie 2 y para la visualización de datos una pantalla Nextion NX3224T028 en la cual se visualizara datos como: nivel de agua, oxígeno y cantidad de pastillas en el dosificador. Para las calibraciones del sistema se procedió a la toma de muestras de concentración de cloro las cuales se calibro acorde a la norma INEN 1108, valores de 1,1 mg/l en la casa de máquinas o garita de clorado, 0,8 mg/l en el tanque de distribución y de 0,7 a 0,3 mg/l en la red de distribución según los análisis que se realizaron en CESTTA

**PALABRAS CLAVE:** <HIPOCLORITO DE CALCIO ( $\text{CaClO}_2$ )>, <INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI)>, <MENSAJES DE SERVICIO CORTO (SMS)>, <PICAIHUA (PARROQUIA)>, <AMBATO (CANTÓN)>.

## ABSTRACT

The process of automation of a system of collection, chlorination, and monitoring of water, chlorine and oxygen levels of the drinking water of the Mollepamba farm located in the Picaihua parish of the Ambato canton belonging to the province of Tungurahua which has a population of 800 inhabitants. For the development of the automated chlorination system, a solid chlorination dosing system was selected through chlorine tablets with a concentration of 70% which are diluted gradually with the contact of the water, this method is the most efficient and economical in the market. Once the chlorination method was selected, the basic design of the chlorination system was carried out, which will be from the collection tank to the storage tank whereby the chlorination will be carried out and will be monitored once the chlorine dosing the water is pumped to the distribution tank and finally to the homes. For the automation of the chlorination, an ultrasonic sensor srf04 was implemented to calculate the water volume and a coupling with an MG99R servomotor and the globe valve, which when measuring the volume of water in the storage tank gives the control to the Mega Arduino for opening the dosing valve. Once the chlorination system was automated, the wireless monitoring was implemented, which was carried out through an interface between Xbee series 2 modules and for the visualization of data in a Nextion NX3224T028 screen in which data such as water level, oxygen and number of pills in the dispenser. For the calibrations of the system, chlorine concentration samples were taken, which were calibrated according to the INEN 1108 standard, values of 1.1 mg / l in the distribution network according to the analyzes carried out in CESTTA.

**KEYWORDS:** <CALCIUM HYPOCHLORITE ( $\text{CaClO}_2$ )>, <HUMAN-MACHINE INTERFACE (HMI)>, Short Message Service (SMS)>, <PICAHUA (PARROQUIA)>, <AMBATO (CANTON)>.

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

El sistema de suministro de agua potable es un procedimiento de obras de ingeniería, que con un conjunto de tuberías enlazadas nos permite llevar el agua potable hasta los hogares de las personas de una ciudad, municipio o área rural comparativamente tupida. (Arqhys, 2012)

En los sistemas de suministro de agua potable, la cloración es una opción de tratamiento de bajo costo que se utiliza para mejorar el sabor y la claridad del agua a la vez que se eliminan muchos microorganismos como bacterias y virus. (Academia Nacional de Ciencias, 2007)

En el Ecuador, los problemas que se presentan generalmente en los sistemas de suministro de agua potable son: (i) bajos niveles de cobertura, especialmente en áreas rurales; (ii) pobre calidad y eficiencia del servicio; y (iii) una limitada recuperación de costos y un alto nivel de dependencia en las transferencias financieras de los gobiernos nacionales y sub nacionales. Una evidencia de esta problemática es el sistema de suministro de agua potable del caserío Mollepamba parroquia Picaihua del cantón Ambato provincia de Tungurahua.

El problema del sistema de suministro de agua potable del caserío Mollepamba es la falta de control de la dosificación del cloro en el proceso de desinfección del agua, por lo cual se suministra a la población una pobre calidad de agua. La utilización y consumo de agua de mala calidad produce enfermedades como: cólera, tifoidea, amebiasis, hepatitis y diarreas. Por lo cual es necesario que los sistemas de suministro de agua potable proporcionen un líquido vital de alta calidad.

Con este antecedente, se ha planteado el presente trabajo de titulación denominado: “Automatización e implementación de un sistema de recolección, cloración y monitoreo de niveles agua, cloro y oxígeno del agua potable del caserío Mollepamba” con el cual se pretende proporcionar un adecuado control y monitoreo al momento de la dosificación del cloro durante todo el proceso de desinfección, garantizando de esta manera un suministro de agua potable de alta calidad.

## **1.1 Antecedentes**

La humanidad ha almacenado y distribuido agua prácticamente desde sus orígenes. Desde las primeras técnicas de almacenaje, limpieza y distribución hasta las infraestructuras y tecnologías actuales para el tratamiento, reciclado y depuración de aguas ha transcurrido una larga historia. (Condorchem, 2017)

A nivel mundial, algunos acontecimientos que marcaron la historia de los sistemas de suministro de agua potable fueron: en el año 1804 John Gibb construyó un sistema de suministro de agua potable para una ciudad completa en Paisley – Escocia, tres años más tarde se empezó a transportar agua filtrada a la ciudad de Glasgow; en 1806 en París empezó a funcionar la mayor planta de tratamiento de agua, provista de sedimentador y filtros de arena y carbón.

A nivel nacional, desde 1965 hasta 1992, los sistemas de suministro de agua potable fueron construidos, mantenidos y en parte operados de forma centralizada por el Instituto Ecuatoriano de obras Sanitarias (IEOS), actualmente desaparecido. (Figueroa Rosero, 2015)

La cloración de las aguas empezó a utilizarse a principios del siglo XX, hacia el año 1910, y fue en los años 40 y 50 cuando se extendió a gran parte de la población urbana. Hoy en día, los métodos de desinfección del agua (en particular la cloración con diversos compuestos), abarca la práctica totalidad de la población de nuestro país a excepción de algunos rurales muy aislados. (Berdonces, 2008)

Hace ya muchos años que se conoce la relación entre la contaminación del agua y la aparición de numerosas enfermedades epidémicas. Sin embargo, las primeras investigaciones médicas al respecto se atribuyen al Dr. John Snow, quien en 1854 estableció una relación clara entre la salubridad del agua y la epidemia de cólera que en esa época asolaba Londres. (Berdonces, 2008)

Hoy en día, a pesar de haber avanzado mucho en el estudio y el conocimiento de esta relación entre aseptia del agua y enfermedades infecciosas, 1800 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces.

El agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 502 000 muertes por diarrea al año. De aquí a 2025, la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua. (OMS, 2016)

## **1.2 Planteamiento del problema**

El acondicionamiento de agua para consumo humano es un proceso complejo que introduce algunos elementos químicos al agua. El proceso de tratamiento del agua incluye la filtración (algunos filtros usados de carbón pueden añadir sustancias más que eliminarlas), o la cloración (induce 1 de cada 10 cánceres de vejiga), ozonización, fluoración (puede estimular las fracturas femeninas de cadera). (Berdonces, 2008)

A nivel mundial, la población se enfrenta a la problemática que cada vez es más difícil encontrar un agua realmente natural. La moda de ir consumiendo agua de botellón para beber, y utilizar la de distribución pública para otros usos, se va extendiendo progresivamente debido a la poca fe que tienen los ciudadanos en el agua que sale del grifo. Hay muchas razones para esta tendencia, aparte del sabor a cloro. (Berdonces, 2008)

A nivel nacional, los problemas que se presentan generalmente en los sistemas de suministro de agua potable son: (i) bajos niveles de cobertura, especialmente en áreas rurales; (ii) pobre calidad y eficiencia del servicio; y (iii) una limitada recuperación de costos y un alto nivel de dependencia en las transferencias financieras de los gobiernos nacionales y sub nacionales. (Wikipedia, 2017)

El sistema de suministro de agua potable para el caserío Mollepamba parroquia Picaihua del cantón Ambato provincia de Tungurahua es una evidencia de la problemática que afecta a nivel nacional. Por medio de una investigación se determinó que el sistema del caserío Mollepamba ofrece una pobre calidad de agua y eficiencia del servicio. Muestra de ello es la variabilidad de la calidad de agua potable que se ha suministrado a lo largo del año. La causa principal de este problema es la falta de control en el proceso de dosificación del cloro. Cabe recalcar que la dosificación se realiza manualmente, sin horario ni dosis establecida.



Si la dosis de cloro en el agua no es la adecuada se pueden presentar sustancias tóxicas con elevado potencial cancerígeno que puede afectar a los moradores del sector. Además la utilización y consumo de agua de mala calidad produce enfermedades como: cólera, tifoidea, amebiasis, hepatitis y diarreas. Con este antecedente, realizar un control estricto en el proceso de dosificación del cloro se convierte en una necesidad imperiosa para el sistema de agua potable del caserío Mollepamba.

Con el desarrollo del presente trabajo de titulación denominado “*Automatización e implementación de un sistema de recolección, cloración y monitoreo de niveles agua, cloro y oxígeno del agua potable del caserío Mollepamba*” se pretende proporcionar un adecuado control y monitoreo al momento de la dosificación del cloro durante todo el proceso de desinfección, garantizando de esta manera un suministro de agua potable de alta calidad.

### **1.3 Justificación**

**1.3.1** *Justificación teórica.* El trabajo propuesto busca, mediante la aplicación de la teoría y los conceptos que rigen el ámbito de la automatización, encontrar soluciones para proporcionar un adecuado control y monitoreo al momento de la dosificación del cloro durante todo el proceso de desinfección del agua.

Además con el desarrollo de este trabajo esperamos, con los resultados alcanzados, complementar los conocimientos que recibimos en las aulas de clase. A su vez esperamos que el presente trabajo de titulación sea un aporte teórico para los trabajos futuros que se desarrollen en relación al tema propuesto.

**1.3.2** *Justificación metodológica.* El presente trabajo de titulación, mediante la adopción de un sistema automatizado de recolección, cloración y monitoreo de niveles de cloro, agua y oxígeno, aportará al sistema de agua potable del caserío Mollepamba un método mejorado para el control de la dosificación del cloro en el proceso de desinfección del agua. En definitiva este trabajo se justifica plenamente de forma metodológica al aportar un nuevo método de dosificación del cloro.

**1.3.3** *Justificación práctica.* Con la implementación de un sistema automatizado de recolección, cloración y monitoreo de niveles de cloro, agua y oxígeno proporcionará un

adecuado control y monitoreo al momento de la dosificación del cloro durante todo el proceso de desinfección del agua, garantizando de esta manera un suministro de agua potable de alta calidad.

Los beneficiarios serán todos los habitantes del caserío Mollepamba parroquia Picaihua del cantón Ambato provincia de Tungurahua.

Además el trabajo de titulación que se plantea está orientado a servir de guía para otros sistemas de suministro de agua potable que deseen implementar un sistema automatizado para el tratamiento del agua.

## **1.4       Objetivos**

### **1.4.1       *Objetivo general.***

Automatizar e implementar un sistema de recolección, cloración y monitoreo de niveles de agua, cloro y oxígeno del agua potable del caserío Mollepamba.

### **1.4.2       *Objetivos específicos:***

- Determinar la situación actual y las condiciones en las que se encuentra el sistema de agua potable del caserío Mollepamba.
- Diseñar el sistema automatizado de cloración y monitoreo, mediante la selección adecuada de elementos, que permitan controlar adecuadamente la dosificación del cloro en el proceso de desinfección del agua.
- Realizar pruebas, mediciones experimentales y evaluar el funcionamiento del sistema automatizado de cloración y monitoreo para asegurar el óptimo funcionamiento del proceso de dosificación.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

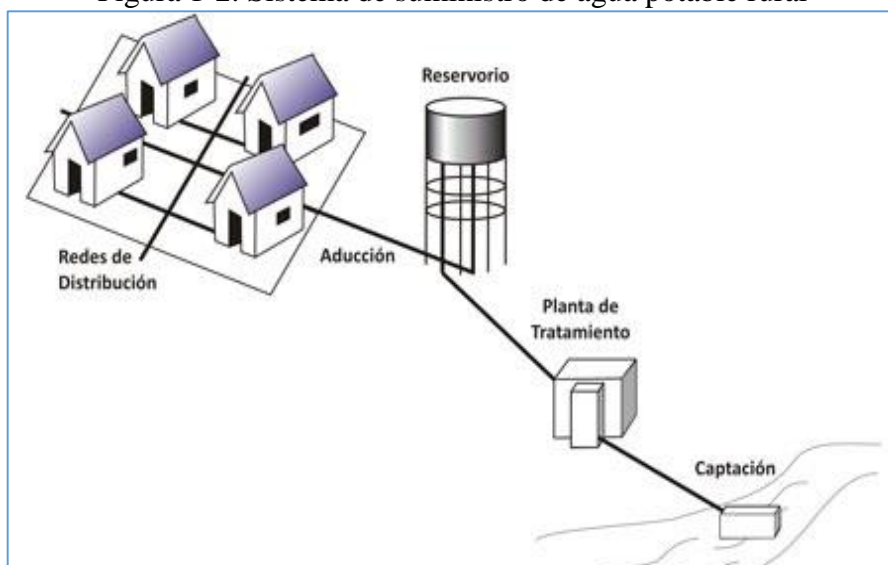
#### 2.1 Sistemas de suministro de agua potable

Un sistema de suministro de agua potable consiste en un conjunto de obras necesarias para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir el agua desde fuentes naturales ya sean subterráneas o superficiales hasta las viviendas de los habitantes que serán favorecidos con dicho sistema. (Cardenas Jaramillo, y otros, 2010)

Un correcto diseño del sistema de suministro de agua potable conlleva al mejoramiento de la calidad de vida, salud y desarrollo de la población. Por esta razón el sistema debe cumplir con normas y regulaciones vigentes para garantizar su correcto funcionamiento. (Cardenas Jaramillo, y otros, 2010)

Los sistemas de abastecimientos rurales suelen ser sencillos y no cuentan en su mayoría con redes de distribución sino que utilizan “Piletas Públicas” o llaves para uso común en muchas oportunidades tienen como fuente las aguas subterráneas captadas mediante una bomba manual o hidráulica. Los sistemas de abastecimiento urbano suelen ser sistemas más complejos. (Arqhys, 2012)

Figura 1-2. Sistema de suministro de agua potable rural



Fuente: <https://goo.gl/ZWrRPh>

## 2.2 Proceso de tratamiento del agua potable

El tratamiento de las aguas se realiza mediante una serie de procesos encadenados que dependen de las características del agua a tratar. La secuencia más habitual del mismo es la siguiente: (Canal de Isabel II Gestión, 2012)

- **Pre oxidación:** introducción en el agua de un agente químico oxidante, capaz de eliminar cualquier materia que pueda oxidarse, tanto orgánica como inorgánica.
- **Coagulación y floculación:** mediante este proceso, se facilita la agrupación de las partículas responsables del color y la turbidez del agua.
- **Decantación:** con el agua casi en reposo y a través de la acción de la gravedad, se depositan en el fondo las partículas y agrupaciones formadas en el proceso anterior, formando un fango que se extrae posteriormente.
- **Filtración:** retención de las partículas que no pudieron ser extraídas en el proceso anterior haciendo pasar el agua por unos filtros.
- **Neutralización:** ajuste de la acidez del agua mediante reactivos químicos para evitar que corroa las tuberías.
- **Desinfección final:** con la adición de reactivos, normalmente cloro y amoníaco para formar cloraminas, se consigue eliminar los microorganismos que hayan podido sobrevivir a los procesos anteriores y se garantiza la calidad del agua durante todo el recorrido por la red de distribución.

## 2.3 Desinfección en el proceso de tratamiento del agua potable

La desinfección del agua se refiere a la inactivación de los microorganismos especialmente los patógenos que son causantes de enfermedades, que pueden causar daños en los consumidores de agua, y cuya intensidad y gravedad varía dependiendo de muchos factores entre ellos: edad y condición física de la persona infectada, así como del tipo de microorganismo causante de la enfermedad y de la intensidad o concentración en el agua del agente infeccioso.

La desinfección es tal vez el tratamiento más importante y de mayor trascendencia en la potabilización del agua.

Existen varios métodos para la potabilización del agua pero el más habitual es la cloración ya que se consigue una correcta desinfección a partir de determinadas concentraciones de cloro libre en un tiempo de contacto determinado. (Chauca, y otros, 2012)

Por lo general, en el sector rural el tratamiento más utilizado pero no adecuado para la desinfección del agua es la utilización del hipoclorito de calcio; es decir la dosificación se realiza de forma manual y depende en gran medida de la experiencia y el método que emplee el operador. (Chauca, y otros, 2012)

Existe un proceso mucho más confiable y efectivo que consiste en un sistema automático de dosificación, medición y control de cloro libre en un depósito de tratamiento. (Chauca, y otros, 2012)

De esta forma, se establecerá como consigna un valor adecuado de cloro libre en el depósito que se mantendrá estable en el tiempo mediante medición del equipo. (Chauca, y otros, 2012)

## **2.4 Métodos de desinfección**

La operación de importancia incuestionable y que asegura protección contra el riesgo de infecciones de origen hídrico se denomina desinfección y constituye una barrera eficaz para numerosos patógenos (especialmente las bacterias) durante el tratamiento del agua de consumo.

Este tratamiento debe aplicarse prioritariamente cuando el agua está contaminada, o cuando no se puede garantizar su potabilidad natural de forma permanente y debe utilizarse tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas expuestas a la contaminación fecal. (Chauca, y otros, 2012)

La desinfección del agua puede llevarse a efecto por diferentes procesos: (1) con agentes químicos; (2) con medios físicos. Cada uno de ellos tiene sus ventajas y sus desventajas y se emplean uno u otro método según sean las circunstancias.

Tabla 1-2. Métodos de desinfección del agua

Métodos químicos	Comentarios	Ejemplos
Cloro y sus derivados	Los más empleados, tiene efecto residual	Compuestos de cloro, cloro gaseoso, dióxido de cloro
Bromo y derivados	Ocasionalmente se emplea	Bromo, óxidos de bromo
Yodo y derivados	Raras veces empleado	Yodo, hipoyodatos, yodatos
Peróxido de hidrogeno	Es una opción a la desinfección con cloro	Peróxido de hidrógeno
Sales metálicas	Se emplea para desinfectar alimentos, raras veces para desinfección de agua	Cobre, plata
Ácidos y Alcalis	Se emplea en procesos tales como proceso cal/soda ash y en reciclado de aguas	Cal, hidróxido de sodio, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico
Ozono	Después de la cloración es el método de desinfección más frecuentemente empleado	gas ozono generado in situ
Métodos Físicos	Comentarios	
Radiación Ultravioleta	Producida por lámparas que emiten radiación con una frecuencia de 254 nm	
Calor	Sistema muy empleado en procesos de pasteurización o en desinfección casera	
Radiación gamma	Solo se emplea para esterilización de equipo, no para desinfección de aguas.	

Fuente: <https://goo.gl/Mg3mHP>

## 2.5 Factores que afectan la eficiencia de un desinfectante químico

La eficiencia de los desinfectantes químicos está en función de parámetros tales como:

**Tiempo de contacto:** Una de las variables más importantes en el mecanismo de desinfección es el tiempo de contacto. Ha sido observado que mientras mayor sea el tiempo de contacto mayor es la efectividad del desinfectante. La siguiente tabla muestra los efectos del cloro en una concentración de cloro residual de 0.5 ppm como cloro libre a un pH de 7.5 y una temperatura de 25°C.

Tabla 2-2. Efectividad del cloro como desinfectante

Tiempo requerido para inactivación de los siguientes microorganismos en las condiciones descrita		
Concentración de Cloro: 0.5 ppm		pH:7.5      Temperatura 25°C
BACTERIA	ENFERMEDAD: TIEMPO DE CONTACTO	
Escherichia Coli	Cistitis del tracto urinario: 50 segundos	
Salmonela Tifosa P-4	Fiebre Tifoidea/Gastroenteritis: 60 segundos	
Salmonela Tifosa P-5	Fiebre Tifoidea/Gastroenteritis: 60 segundos	
Salmonela Tifosa P-10	Fiebre Tifoidea/Gastroenteritis: 60 segundos	
Salmonela Paratifo P-2	Fiebre Paratifoidea: 1 minuto	
Salmonela Schottmuelleri P-3	Fiebre Paratifoidea: 2 minutos	
Shigella Flexneri P-7	Paradisentería: 2 minutos	
Shigella Disentariae	Disentería/Ulceras intestinales: 2 minutos	
Estreptococos Fecalis E-40	Puede ser patógena: 2 minutos	
Estafilococos Aureus	Septicemia/Abscesos Cerebrales/Enteritis minuto	
Polivirus Tipo 1 (Virus)	Polio: 9 minutos	
Entamoeba Histolitica (Quiste)	Disentería Aguda: 30 minutos	

Fuente: <https://goo.gl/Mg3mHP>

Según la tabla anterior, la dosis de cloro es letal para la mayoría de los microorganismos cuando el tiempo de contacto es de minutos y aún de segundos.

- **Concentración y tipo de bactericida:** La concentración del desinfectante junto con el tiempo de exposición, son los factores más importantes en el efecto bactericida. A mayor concentración mayor es el poder bactericida, aunque se llega a un límite en el cual el efecto bactericida permanece constante aun cuando se incrementa la concentración del agente biocida. También el efecto bactericida es dependiente de la sustancia empleada; por ejemplo, entre los oxidantes: cloro, bromo y yodo, se observa una relación directa entre efectividad bactericida y potencial de oxidación de la sustancia.
- **Temperatura:** La temperatura también es factor de importancia en la efectividad germicida; a mayor temperatura mayor efectividad de la sustancia bactericida.
- **Número de microorganismos:** Otro factor a considerar en el proceso de desinfección, es la población de microorganismos. Mientras mayor sea el número de microorganismos a destruir mayor es el tiempo de contacto requerido y/o la concentración del bactericida empleado.
- **Tipo de microorganismos:** Algunas bacterias mueren fácilmente en contacto con el agente bactericida; otros son altamente resistentes y requieren de una acción más intensa. Los microorganismos que producen esporas, son especialmente resistentes a la acción bactericida y solo son destruidos por efectos caloríficos, o por una larga e intensa exposición a algún agente físico o químico.
- **Naturaleza del líquido suspendido:** El medio en que se encuentran los microorganismos es factor importante para la efectividad bactericida. En aguas turbias, en presencia de partículas coloidales, la efectividad bactericida disminuye. Esto se debe a que el microorganismo puede cubrirse al encapsularse entre las partículas de material suspendido, evitando así el contacto directo con el agente bactericida, sobreviviendo a su acción.
- **pH del líquido suspendido:** El pH es determinante en reacciones similares a las que ocurren con el cloro al formar los derivados activos el HOCl y ClO.

## 2.6 Cloración de agua potable

La cloración es el método más habitual para la potabilización de agua logrando una correcta desinfección del agua a partir de determinadas concentraciones de cloro libre en un tiempo de contacto determinado. (Hidritec, 2016)

Por lo general, el tratamiento más adecuado consiste en un sistema automático de dosificación, medición y control de cloro libre en un depósito de tratamiento mediante recirculación del mismo. De esta forma, se establecerá como consigna un valor adecuado de cloro libre en el depósito que se mantendrá estable en el tiempo mediante medición del equipo y la correspondiente actuación de la bomba dosificadora de cloro. (Hidritec, 2016)

**2.6.1** *El cloro y sus derivados.* El uso del cloro como agente desinfectante empezó a principios del siglo XX y pasó a completar el proceso de filtración, que ya era ampliamente utilizado.

Los productos de la familia del cloro más habituales para realizar la desinfección del agua son: cloro gaseoso, hipoclorito sódico, hipoclorito cálcico. (ITE, 2017)

El cloro ( $\text{Cl}_2$ ) es un gas tóxico, más denso que el aire, de color verde amarillento. Es un producto muy oxidante que reacciona con muchísimos compuestos. En presencia de humedad es extremadamente corrosivo y por ello los conductos y los materiales en contacto con él han de ser de aleaciones especiales.

El vapor de cloro es irritante por inhalación y puede causar heridas graves en caso de exposición a altas concentraciones. El manejo de cloro se ha de realizar pues, por parte de personal especializado y son necesarios sistemas de control y de alarma muy efectivos. Por estos motivos, es preferible la utilización de hipocloritos en solución o en forma sólida. (ITE, 2017)

El hipoclorito sódico ( $\text{NaClO}$ ) en solución es un desinfectante que se utiliza del siglo XVIII y que popularmente se conoce como lejía. A nivel industrial se obtiene por reacción del cloro gas con una solución de hidróxido de sodio. Tras la reacción, se obtienen soluciones acuosas de color amarillo verdoso, que tienen una concentración determinada



de cloro activo por litro. Se comercializa en disoluciones de concentraciones entre 3 y 15% en peso. El hipoclorito sódico es un oxidante muy potente e inestable, tanto, que una solución de 100 gramos de cloro activo por litro, después de ser almacenada durante 3 meses, puede contener 90 gramos o incluso menos. (ITE, 2017)

El hipoclorito cálcico ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ) es un sólido blanco con contenido entre el 20 y el 70% de cloro activo. Es muy corrosivo y que puede inflamarse al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos. Sin embargo, presenta dos ventajas respecto al hipoclorito sódico: su mayor contenido en cloro y su mayor estabilidad. Para ser utilizado, se diluye con agua para obtener una solución de concentración más manejable, por ejemplo, 2%. (ITE, 2017)

Tabla 3-2. El cloro y sus derivados

	<b>Forma en que se presenta el producto</b>	<b>Contenido de cloro</b>	<b>Estabilidad en el tiempo</b>	<b>Seguridad</b>
<b>Cloro gaseoso</b>	Gas licuado a presión	99 %	Muy buena, tener mucho cuidado con las fugas.	Gas muy tóxico
<b>Hipoclorito de sodio</b>	Solución líquida amarilla	Máximo 15 %	Pérdida mensual del 2 al 4 %. Pérdida aún mayor si la temperatura supera los 30 °C.	Líquido corrosivo, contiene sosa.
<b>Hipoclorito de calcio</b>	Sólido blanco	Del 60 al 70 %	Pérdida anual del 2 al 2,5 %	Corrosivo. Posible inflamación en caso de contacto con ciertos materiales.

Fuente: Autores

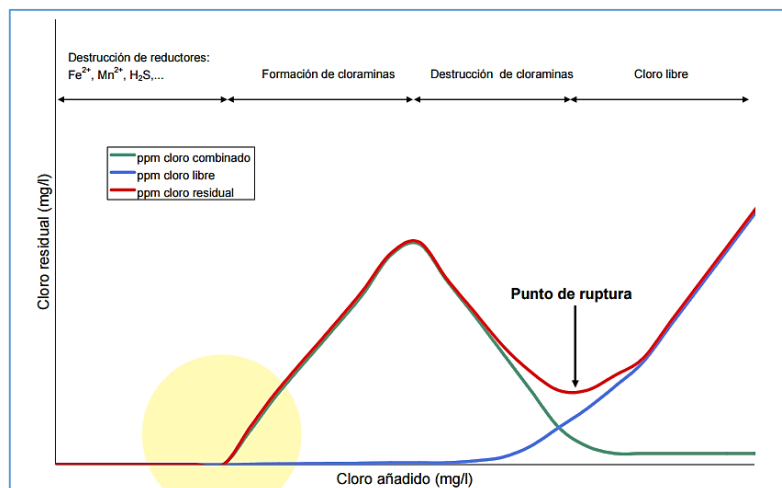
**2.6.2 Demanda de cloro.** El cloro (y derivados) además de reaccionar con los microorganismos, también lo hace con otra materia disuelta en el medio: materia orgánica, hierro, manganeso, etc.

Por este motivo, para tener un cierto nivel de cloro residual, la cantidad necesaria que se ha de añadir es bastante superior al residual obtenido. (ITE, 2017)

Por todo ello, antes de decidir la dosis de cloro que se ha de utilizar para desinfectar, se ha de determinar la demanda de cloro, es decir, la cantidad de cloro que se consume hasta la aparición del residual. (ITE, 2017)

En la siguiente figura se muestra la variación de la cantidad de cloro residual en función del cloro añadido para un caso hipotético general.

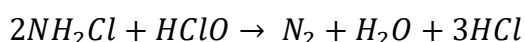
Figura 2-2. Variación de la cantidad de cloro residual en función del cloro añadido



Fuente: (ITE, 2017)

A continuación se detalla el análisis de la gráfica anterior: (ITE, 2017)

- En una primera etapa, se produce la oxidación de sustancias reductoras, principalmente inorgánicas:  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $H_2S$ , etc. Todo el hipoclorito que se añade se consume, con lo cual no hay cloro disponible.
- Una vez destruidas estas sustancias, se iniciaría una etapa en la que se formarían compuestos clorados, principalmente cloraminas, que actuarían como cloro residual, otorgando un cierto carácter desinfectante al sistema.
- Cuando todo el amoníaco y las aminas orgánicas ha reaccionado con el cloro, después del máximo de la curva, se inicia una etapa de destrucción de estos compuestos clorados formados en la etapa anterior. A pesar de añadir más cloro, no se observa un aumento de la cantidad de cloro disponible sino una disminución, ya que se consume tanto el cloro residual que se había formado, como el hipoclorito que se añade. En la ecuación siguiente se puede observar este efecto:



La capacidad desinfectante del sistema, pues, disminuye en esta etapa.

- Después del punto de ruptura (breakpoint), todo el cloro que se añade se mantiene como cloro libre. Así pues, se considera que a partir de este punto tanto la

desinfección como la eliminación de materia orgánica oxidable por cloro, se ha llevado a cabo y el agua tiene un cierto valor de cloro libre residual.

La demanda de cloro es la diferencia existente entre la cantidad de cloro aplicada al agua y la de cloro disponible libre. Así pues, podemos considerar que la demanda de cloro aproximadamente coincide con la dosis a la que se alcanza el punto de ruptura.

El cloro libre residual puede presentarse en forma de  $Cl_2$ ,  $HClO$  y/o  $ClO^-$  dependiendo del pH de trabajo y por lo tanto corresponde a la suma de estas tres especies.

**2.6.3**      *Determinación del cloro.* Habitualmente la determinación de cloro residual en aguas se realiza por reacción con o-tolidina o bien N, N-dietil-p-fenilendiamina (DPD). La primera de ellas se realiza de forma simple, pero presenta el inconveniente de que no permite una buena diferenciación entre el cloro residual libre y el combinado.

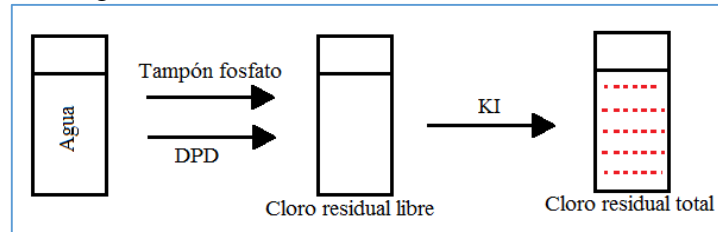
La o-tolidina reacciona rápidamente con el cloro libre, pero a partir de los 5 segundos también reacciona con el combinado, de forma que no se puede cuantificar ambos por separado, ya que es casi imposible realizar el análisis por separado en una escala tan corta de tiempo.

Al no poder determinar si realmente existe cloro libre (y en qué cantidad), podemos tener un agua mal clorada: alto contenido en cloro combinado, pero ausencia de cloro libre (es decir, estaríamos clorando por debajo del punto de ruptura). (ITE, 2017)

Por lo anteriormente expuesto, es más recomendable el uso de DPD, que si permite distinguir entre cloro libre y combinado. La DPD, a pH entre 6.2 y 6.5 da lugar a una coloración rojiza que es proporcional a la cantidad de cloro libre presente en el medio. Por comparación con una escala de color se puede determinar la cantidad de cloro libre.

Sobre la misma muestra, se añade yoduro potásico, que libera el cloro combinado y hace que éste reaccione con la DPD, con lo que finalmente tenemos la lectura de cloro residual total. Por diferencia entre ambos valores, podemos determinar el cloro residual combinado. (ITE, 2017)

Figura 3-2. Determinación cloro residual, DPD



Fuente: (ITE, 2017)

Esta reacción se puede monitorizar de forma sencilla en forma de kits de reacción, suministrados por multitud de proveedores. Una forma más precisa de realizar esta determinación es utilizando un fotómetro, que es un instrumento que realiza la lectura de la intensidad de color y permite relacionarla directamente con la concentración de los productos. La determinación colorimétrica de cloro por reacción con DPD está reconocido como el método estándar de la EPA 4500-Cl G. (ITE, 2017)

Otro sistema de determinación de cloro es el método amperométrico. En él, se produce la reducción del cloro en solución, lo que genera una intensidad de corriente que es proporcional a la concentración de cloro. Existen versiones para determinar sólo cloro libre o para determinar cloro total. La gran ventaja de este método es la posibilidad de realizar lecturas en continuo lo que permite un control en línea de la cloración. Su gran inconveniente es el elevado coste. (ITE, 2017)

**2.6.4 Control de la cloración.** Con todo lo expuesto hasta ahora, tenemos ya las bases para poder discutir un poco más en profundidad sobre qué parámetros nos permiten decidir que un agua está correctamente tratada. Como hemos visto, la cloración es correcta siempre que nos encontremos en valores de cloro residual superiores a los del punto de ruptura (que coinciden aproximadamente con los valores de cloro residual libre). Las cantidades de cloro libre residual recomendadas por los organismos competentes para aguas potables oscilan entre 0.5 y 1.0 ppm y entre 1.5 y 3.0 ppm para piscinas. (ITE, 2017)

No obstante, se trata de cloro libre, es decir, esta cantidad no es el cloro añadido, puesto que parte de éste se ha consumido por sustancias presentes en el agua (demanda de cloro). Hasta este momento no hemos tenido en cuenta en ningún momento la velocidad de reacción del cloro (hipoclorito) con los microorganismos.

En este aspecto, conviene definir el concepto Ct, que es el producto de la concentración de hipoclorito dosificada por el tiempo de contacto entre el cloro y el microorganismo, para asegurar la desinfección deseada. El valor de Ct depende del microorganismo en cuestión y la temperatura del agua. Además, tal y como se ha podido ver anteriormente, la actividad del hipoclorito está muy influenciada por el pH; es decir, en términos de desinfección no es lo mismo tener 5ppm a pH 7 que tenerlos a pH 8. Por este motivo, Ct también depende del pH del agua. (ITE, 2017)

**2.6.5**      *Protocolo de cloración.* A modo general, se puede establecer un protocolo de cloración que consta de varias etapas:

- Estimación de la demanda de cloro o punto de ruptura. Esto nos permitirá determinar la dosis de cloro que se ha suministrar para conseguir una completa desinfección del agua.
- Establecimiento del valor de Ct a que necesitamos trabajar. Esto permitirá ajustar el tiempo de contacto entre el hipoclorito y los microorganismos de forma que obtengamos un agua desinfectada. Habitualmente, la dosificación de desinfectante se realiza en un depósito en la red de distribución para permitir la máxima homogeneización del agua. El dimensionado de tanques de tratamiento ha de tener en cuenta el parámetro Ct para permitir un tiempo de permanencia adecuado al tratamiento. En general, se considera que a pH inferior a 8, un tiempo de contacto de 30 minutos es suficiente. Se recomienda que el tiempo de permanencia del agua en el tanque sea inferior a 48 horas. Si el tanque ya estaba en funcionamiento antes de iniciar la cloración y estaba infradimensionado, podría ocurrir que el tiempo de permanencia del agua no fuera suficiente, lo que daría lugar a una mala desinfección. En estos casos, para mantener el parámetro Ct sería necesario incrementar la dosis de tratamiento.
- Una vez desinfectada el agua, se ha de comprobar, mediante un kit de determinación de cloro, que la cantidad de cloro residual en el punto más alejado de la red de suministro está dentro de lo estipulado por las autoridades competentes. En caso de ser demasiado bajo, se tendría que aumentar la dosis de cloro suministrada, con posterioridad a la desinfección. Por el contrario, si la dosis es demasiado elevada-

como ocurriría en el caso de un tanque infradimensionado, la adición de un reductor (como el bisulfito sódico o el metabisulfito) permitiría la eliminación del cloro residual hasta el nivel necesario. Una vez el cloro se mantiene dentro de los valores residuales requeridos, se puede realizar una medida del potencial redox del sistema ya que éste nos servirá como sistema de control, siempre y cuando no haya grandes variaciones en la calidad del agua de alimentación del sistema.

Este procedimiento aquí descrito es meramente orientativo y en ningún caso constituye una receta exacta a seguir. En caso de duda, se recomienda pedir asesoramiento a los organismos competentes en materia de Salud Pública.

**2.6.6** *Tipos de equipos de cloración.* Existen dos equipos ampliamente utilizados: el dosificador de tableta (o pastilla) y el hipoclorador de tipo de carga constante. La diferencia principal entre ambos equipos es en la manera de operar, el hipoclorador es eléctrico; el de tableta es mecánico, a continuación veremos los detalles de operación de cada equipo. (Comisión Estatal del Agua, 2013)

Es importante mencionar que la solución puede ser sólida (hipoclorito de calcio, 65% de cloro activo) o líquida (hipoclorito de sodio, 13% de cloro activo). El más recomendado es este último. (Comisión Estatal del Agua, 2013)

En principio, el hipoclorador es una bomba que succiona una solución de cloro de un recipiente. Para posteriormente inyectar la solución en la tubería del sistema por medio de una válvula de inyección, la cual tiene un difusor de espera. (Comisión Estatal del Agua, 2013)

Figura 4-2. Hipoclorador



Fuente: <http://www.bymisa.mx>

Aunque existen varios tipos de hipocloradores, el más usado es el de marca Milton Roy modelo P141-358 que consiste en una bomba dosificadora que tiene una capacidad de inyectar 14.4 galones por día equivalentes a 55 litros diarios y una presión de 250 psi ( $17\text{Kg}/\text{cm}^2$ ). (Comisión Estatal del Agua, 2013)

En localidades cuya población es menor a 5,000 habitantes, los aparatos dosificadores podrán ser hipocloradores de solución de tipo de carga constante. Su utilización deberá justificarse con un balance comparativo de costos de operación y de mantenimiento.

**2.6.7** *Puntos de aplicación del cloro.* Si se cuenta con una sola fuente de abastecimiento (pozo, bordo, manantial, etc) puede aplicarse directamente en ella. Si se cuenta con más de una fuente, entonces aplicar en el sitio de concentración de los caudales. Si las fuentes de abastecimiento funcionan independientemente, entonces se deberá aplicar en cada una por separado. (Comisión Estatal del Agua, 2013)

**2.6.8** *Cálculo para la dosificación de un hipoclorador.* En pocas palabras, la cantidad de cloro necesaria para desinfectar propiamente el agua, dependerá del volumen extraído del agua del pozo.

Existe una fórmula que nos permite definir la dosificación necesaria de cloro en el agua. La dosificación de hipoclorito es igual a la cantidad de agua bombeada, esto es litros x segundo dividida entre 1.2. (Comisión Estatal del Agua, 2013)

Ejemplo: Primero que nada, hay que conocer cuánta agua bombea nuestro pozo, este dato lo obtenemos de la lectura del macromedidor que se encuentra en el tren de válvulas del pozo.

Fórmula: (agua bombeada)  $\div$  1.2 = dosificación de hipoclorito de sodio.

Tomando en cuenta que un pozo bombea 10 litros/ seg. Este cálculo está diseñado para una concentración de cloro residual de 1.5 ppm, partiendo de una solución de hipoclorito de sodio al 13% aplicándola en el tren de válvulas del pozo.

$10 \text{ litros/ seg} \div 1.2 = 8.3 \text{ litros/día}$

**2.6.9**      *Cloro residual.* Cuando en una comunidad se anuncia que se va a clorar el agua, la gente piensa que ésta va a saber mal o que el cloro residual “hace daño” a la salud. Ninguna de estos supuestos es cierto. (Comisión Estatal del Agua, 2013)

Si el cloro se aplica en cantidades adecuadas, el sabor del agua cambia, es un sabor diferente, pero no es molesto, simplemente es algo a lo que hay que acostumbrarse. Hay que tener en cuenta que si la dosificación es apropiada, el cloro residual, lejos de dañar a la salud, sigue activo en el agua, eliminando cualquier riesgo de infección, provocada por organismos patógenos. (Comisión Estatal del Agua, 2013)

El cloro tiene el poder de seguir activo después de haber tenido contacto con el agua. Gracias a esta cualidad, sigue eliminando bacterias y microorganismos presentes en ella, haciendo el consumo de agua más seguro después de haber sido aplicado. (Comisión Estatal del Agua, 2013)

## **2.7            Enfermedades de origen hídrico**

Hoy en día el control de las enfermedades transmitidas producto de ingerir agua contaminada por gérmenes muy virulentos, como son los del cólera, las fiebres tifoideas o la hepatitis vírica es evidente y los riesgos epidemiológicos relacionados con ésta causa un gran impacto. (Chauca, y otros, 2012)

En 1854; los señores Snow y York determinaron que el agua contaminada era la causa principal que produjo el deceso de miles de personas en Londres con la epidemia conocida como cólera.

En 1991 surgió nuevamente la epidemia de cólera que se extendió a 21 países, ocasionando 1 207 000 casos hasta 1997. (Chauca, y otros, 2012)

A nivel mundial, la falta de servicio de drenaje y agua potable son la causa de más de 12 millones de defunciones por año.

Más de 1200 millones de personas están en riesgo porque carecen de acceso a agua dulce salubre. Las principales enfermedades transmitidas por el agua causan la muerte de 3 a 4 millones de personas, sobre todo niños. (Chauca, y otros, 2012)



## **2.8 Efectos en la salud**

Existen una gran cantidad de gérmenes que pueden ser la causa de epidemias de origen hídrico. Según, la publicación “Soluciones para un mundo con escasez de agua.

Population Reports” de la Escuela de Salud Pública de Johns Hopkins, las enfermedades transmitidas por el agua contaminada son: cólera, fiebre tifoidea, shigella, poliomielitis, meningitis y hepatitis A y E. (Chauca, y otros, 2012)

Las enfermedades diarreicas o trastornos ocasionados por estos gérmenes son de una gravedad moderada presentándose a menudo en forma de gastroenteritis asociada a dolores abdominales o vómitos.

Dichos trastornos son por lo general de corta duración y pueden afectar a una persona o incluso a comunidades enteras, todo depende de la calidad o del tipo de germen presente en el agua. Junto a estas epidemias “benignas”, aparecen ocasionalmente enfermedades de origen hídrico mucho más graves. (Chauca, y otros, 2012)

Los grupos de población más susceptibles a contraer una infección de origen hídrico están constituidas por niños de corta edad, personas mayores, inmunodeficientes o enfermos, y esta puede ocurrir como resultado de beber agua contaminada, o a través de sus diversos usos cotidianos: preparación de alimentos, aseo o incluso inhalación. (Chauca, y otros, 2012)

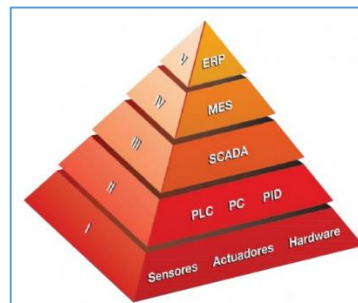
Las principales enfermedades de origen hídrico son: Fiebres tifoideas y paratifoideas, Disentería bacilar, Cólera, Gastroenteritis agudas y diarreas, Hepatitis A y E, Poliomielitis y Disentería amebiana.

## **2.9 Automatización**

La automatización es una disciplina de la ingeniería encargada de controlar máquinas o procesos industriales de forma óptima, mejorando la calidad del producto y su productividad. Los sistemas de automatización pueden ser divididos en distintos niveles, conformando la pirámide de la automatización. Estos niveles son:

- **Nivel 1 Equipos de campo:** Formado por equipo en el frente de batalla, el que está en contacto directo y tiene repercusión directa con el proceso. Estos pueden ser todo tipo de sensores, actuadores, robots, motores, hidráulica, etc.
- **Nivel 2 Control de proceso:** En este nivel se lleva a cabo la regulación, la operación y el control del proceso a través de programación para procesar las señales que se generan en el campo. Los elementos que encontramos en este punto cuentan con inteligencia local, dígame PLCs, computadoras o HMIs, que se comunican directamente con los equipos de campo.
- **Nivel 3 Operación y supervisión:** Corresponde a los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos. Enlaza, principalmente, celdas de producción y computadoras con equipo de observación como puede serlo un sistema SCADA. Es por esto que en este nivel es importante contar con equipo que integre los diferentes protocolos de comunicación de los equipos en el nivel 2, es decir, los lenguajes que distintos PLCs hablan como PROFINET, ETHERNET IP, DEVICE NET, etc.
- **Nivel 4 Planificación:** Nivel encargado en el seguimiento del producto, gestión del stock y, a grandes rasgos, la ejecución de la producción.
- **Nivel 5 Gestión:** Aquí es donde se administran los recursos empresariales y se utilizan los famosos E.R.P. (Enterprise Resource Planning) desarrollado por ORACLE, S.A.P. y EPICOR.

Figura 5-2. Pirámide de la automatización



Fuente: <https://goo.gl/rY5b4a>

**2.9.1 Elementos de un sistema automatizado.** Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte de Mando
- Parte Operativa

La Parte Operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera.

La Parte de Mando suele ser un autómatas programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómatas programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

### **2.9.2**      *Objetivos de la automatización*

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción.

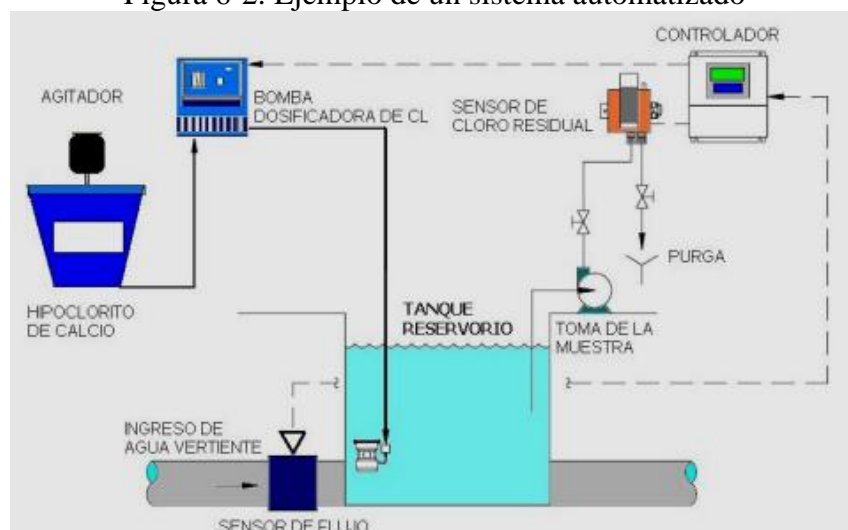
**2.9.3**      *Sistemas automatizados de cloración.* La cloración es el método más habitual para la potabilización de agua logrando una correcta desinfección del agua a partir de determinadas concentraciones de cloro libre en un tiempo de contacto determinado.

Por lo general, el tratamiento más adecuado consiste en un sistema automatizado de dosificación, medición y control de cloro libre en un depósito de tratamiento mediante recirculación del mismo. De esta forma, se establecerá como consigna un valor adecuado de cloro libre en el depósito que se mantendrá estable en el tiempo mediante medición del equipo y la correspondiente actuación de la bomba dosificadora de cloro.

Los sistemas automatizados para dosificación de cloro entregan la cantidad correcta gracias al uso de equipos de bombeo y control así como la calibración que asegurará la adición del cloro de manera precisa y continua.

- **Sistema automatizado de hipoclorito de calcio.** Es un sistema poco utilizado puesto que a pesar de tener un control automático al momento de dosificar y controlar el nivel de cloro que se inyecta para la desinfección, todavía depende en gran medida de una persona por cuanto la solución de hipoclorito de calcio tiene efectividad tan solo un día; es decir el operador debe preparar una nueva solución cada 24 o 30 horas según la capacidad del tanque de distribución. (Chauca, y otros, 2012)
- **Sistema automatizado de cloro gaseoso.** En la actualidad, es el sistema más utilizado en grandes plantas de tratamiento de agua potable por cuanto brinda todas las garantías necesarias al momento de desinfectar el líquido vital y por ende asegura un agua de calidad para los consumidores. (Chauca, y otros, 2012)

Figura 6-2. Ejemplo de un sistema automatizado



Fuente: (Chauca, y otros, 2012)

## **CAPÍTULO III**

### **3. SITUACIÓN ACTUAL, DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS PARA EL SISTEMA DE CLORADO AUTOMÁTICO**

#### **3.1 Situación actual**

El caserío Mollepamba perteneciente a la parroquia Picaihua del cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

Sus habitantes tienen como ocupación principal la agricultura, comercializan productos agrícolas y una pequeña parte se dedica a la crianza de truchas y la curtiembre.

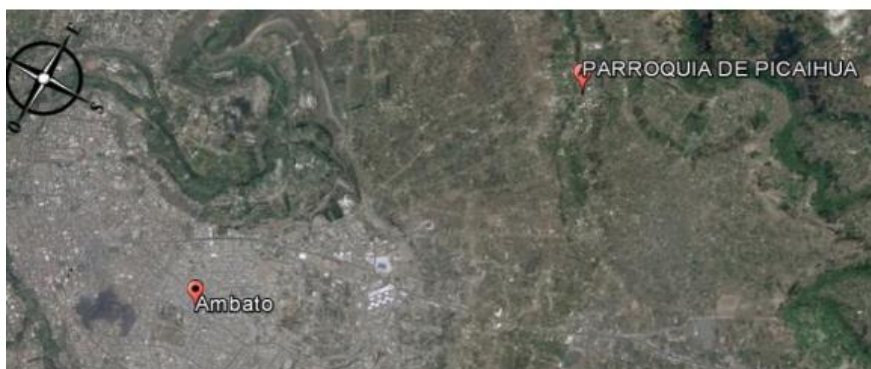
Según datos proporcionados por los moradores del sector, el proyecto de agua potable del caserío Mollepamba, inició en el año de 1973 al ver que por el sector existía gran humedad los moradores comenzaron acabar y encontraron vertientes, con la ayuda de una bomba manual donada por el Ministerio de Salud de aquel entonces se logró sacar el agua de las vertientes.

El 15 de mayo de 1993, con la construcción de un pozo en la parte alta del caserío y una bomba manual lograron obtener el agua, posteriormente se buscó un sitio específico para realizar la recolección de agua.

En 1996 con la ayuda del Sr. alcalde de Ambato Luis Fernando Torres y los moradores del sector crearon una directiva quienes guiaron en el proyecto, se empezó con la construcción de la casa de máquinas, el tanque de almacenamiento y distribución del líquido vital.

**3.1.1 Datos generales del lugar.** El caserío Mollepamba está ubicado en la parroquia Picaihua al suroeste del cantón Ambato en la Provincia de Tungurahua, cuenta con una población de 800 habitantes con un promedio de 5 personas por cada 160 viviendas según datos proporcionados por el Sr. Luis Alberto Criollo Muyolema, presidente de la Junta Administradora de Agua Potable.

Figura 1-3. Parroquia Picaihua



Fuente: [www.google.es/maps](http://www.google.es/maps)

Figura 2-3. Caserío Mollepamba



Fuente: [www.google.es/maps](http://www.google.es/maps)

**3.1.2** *Sistema de distribución y clorado actual.* El agua es atraída desde vertientes a un tanque de captación desde este tanque el agua llega a una cisterna de almacenamiento general construido de hormigón armado mediante tuberías de asbesto cemento, finalmente, todo es traslado desde la captación hasta el depósito de distribución, se realiza por gravedad, finalmente el agua es impulsada por una bomba de 7 ½ hp hacia un tanque de distribución.

Figura 3-3. Sistema de distribución



Fuente: Autores

En la actualidad el caserío Mollepamba no cuenta con un sistema de clorado, las dosificaciones se las hacen de forma manual y esporádicamente sin tener ninguna referencia de la cantidad ni del tipo de cloro que se debe suministrar.

Es sistema de suministro de agua cuenta con un sensor de nivel de agua el cual al momento de encontrarse el reservorio en niveles altos acciona una bomba la cual se encarga de enviar el agua al tanque de suministro

Figura 4-3. Tanque de almacenamiento



Fuente: Autores

**3.1.3** *Importancia de cloración en el agua.* El agua de consumo humano no debe contener ningún tipo de microorganismo nocivo y las concentraciones de sustancias químicas de otro tipo deben estar en los parámetros establecidos de modo que no presenten ningún riesgo para la salud.

Un tratamiento adecuado de clorado en el agua permite la eliminación de virus, quistes o esporas de bacterias que pueden causar infecciones o enfermedades a causa de beber agua contaminada.

Tabla 1-3. Síntomas de las principales enfermedades transmitidas por el agua

Nombre	Agente	Síntomas principales
Salmonellosis	Bacteria	Dolores abdominales, diarreas, náuseas, vómitos, fiebre.
Hepatitis	Virus	Fiebre, náuseas, anorexia, malestar general.
Disenterias	protozooario	Diarreas, fiebre, vomito. Cólico.
Giardiasis	protozooario	Asintomático, asociada con diarreas.
Cólera	Bacteria	Fiebre, diarreas, malestar abdominal, vómitos.
Fiebre tifoidea	Bacteria	Fiebre, malestar general, anorexia, pulso lento.

Fuente: organización panamericana de la salud



**3.1.4** *Socialización con el caserío sobre la implementación de un sistema de clorado automático.* La construcción de un sistema de cloración automatizado era una necesidad para el caserío debido al número de personas que se beneficiaban directamente del consumo de agua, directivas anteriores del caserío tenían como prioridad construir un sistema económico y funcional, pero por varias razones esto no fue posible.

El primer contacto fue el presidente de la Junta Administradora de Agua Potable del caserío con quien se mantuvo varias reuniones con el fin de intercambiar ideas, una vez expuesta la propuesta se acordó una reunión general con todos los habitantes del caserío para una socialización general, al inicio de la reunión general se tuvo una respuesta negativa específicamente porque la mayoría de usuarios utilizaban el agua para sus cultivos y la crianza de truchas, y por el gran inconveniente del costo de implementación del sistema obviando el beneficio del mismo que ahora es para consumo humano teniendo en cuenta los estándares permitidos por la norma INEN 1108

Muchas de las personas no entendían la importancia y los beneficios de consumir agua tratada, pero al dar a conocer sobre las acciones positivas que generaría este sistema, después de varias reuniones se logró la aceptación para el inicio de la construcción bajo la firma de un acuerdo de responsabilidad donde se acordaba entregar el sistema puesto en marcha y en los plazos establecidos.

Figura 5-3. Socialización con habitantes del caserío



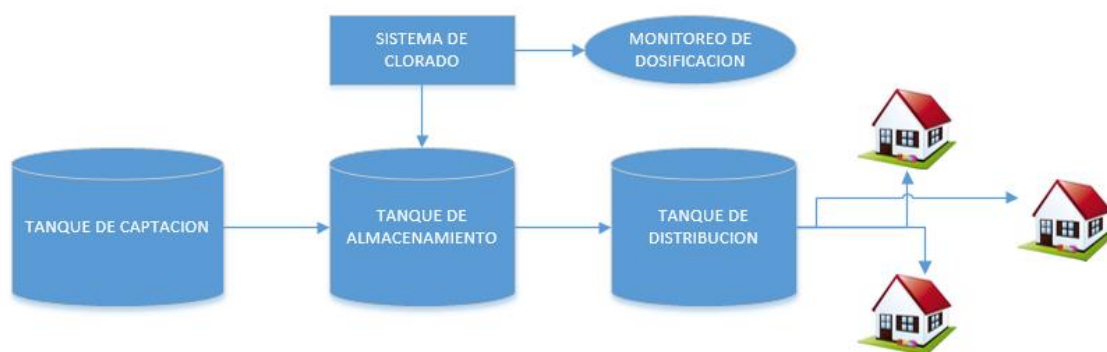
Fuente: Autores

## **3.2 Diseño del sistema automatizado de clorado**

Para iniciar con la implementación se realizó un diseño base del sistema de cloración el cual va a consistir desde el tanque de captación hacia el tanque de almacenamiento en el cual se realiza el clorado el mismo que será monitoreado, una vez aplicada la dosificación de cloro el agua se bombeará al tanque de distribución y finalmente a los domicilios



Gráfico 1-3. Diseño del sistema automatizado de clorado



Fuente: Autores

Se seleccionó el tanque de almacenamiento para realizar la cloración porque dicho tanque se encuentra en un cuarto de máquinas que se encuentra protegido de factores climáticos y dispone de conexiones eléctricas las cuales son indispensables para la realización del trabajo de titulación.

### 3.3 Selección del sistema de clorado y dosificador

Se analizaron diferentes elementos y dispositivos adecuados para el sistema de clorado

- **Metodología de selección.**

Todas las selecciones estarán bajo un esquema de calificación según una tabla de ponderación en base a las mejores características.

La escala contempla porcentajes de 0 a 50 % como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 2-3. Escala de evaluación

Clasificación	Ponderación
Excelente.	50
Muy Buena.	40
Buena.	30
Regular.	20
Mala.	10
Muy Mala.	0

Fuente: Autores

A continuación, se detalla el modo de clasificación:

- Excelente: Cuando los parámetros se ajustan en su totalidad.
- Muy buena: Cuando los cumplimientos y especificaciones establecidos están en 40
- Buena: Cuando los cumplimientos y especificaciones están 30
- Regular: Cuando los cumplimientos y especificaciones están 20
- Mala: cuando no cumplen las características mínimas requeridas.
- Muy mala: las características no son recomendables.

**3.3.1 Selección del sistema de clorado.** El sistema de clorado debe ajustarse a las necesidades requeridas por parte de los habitantes del caserío los aspectos más representativos para la selección son los siguientes.

**Costo.** Al no ser un lugar con gran cantidad de personas el sistema no debe ser sobredimensionado, debe estar ajustado bajo el presupuesto establecido, el costo del sistema estará relacionado con el número de habitantes.

**Modo de funcionamiento.** Otro aspecto importante para la selección es la forma de funcionamiento, además del funcionamiento se calificará las dimensiones del sistema debido a que se colocará en un lugar ya establecido.

**Número de habitantes.** Se debe tomar en cuenta que la población es de 800 habitantes y el índice de crecimiento poblacional que es del según INEC 1,37% (INEC, 2015)

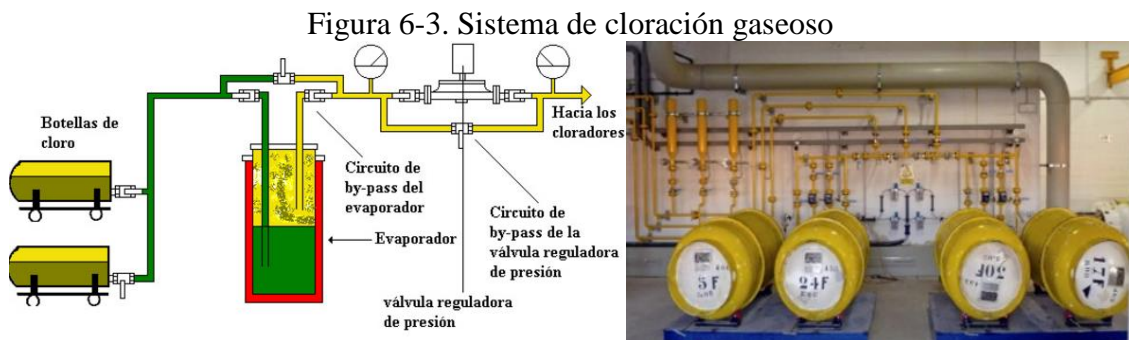
**Abastecimiento de agua.** El flujo de agua es primordial para seleccionar el tipo de cloración, según la cantidad se seleccionará entre una dosificación sólida, líquida o gaseosa.

**Precisión y facilidad para automatizar el dosificador.** Como el sistema será monitoreado vía inalámbrica, se deberá seleccionar un sistema que se pueda controlar bajo este mando de forma eficaz.

Para la selección de la mejor alternativa se tienen tres propuestas:

- **Alternativa A**

Cloro gaseoso. Es un sistema que funciona al vacío o a presión directa con cloro gaseoso, las válvulas de ajuste son las encargadas de controlar la cantidad de dosificación y el flujómetro mide el nivel de cloro haciendo que el cloro llegue al agua a tratar. Este sistema es costoso por requerir grandes equipos, es recomendado para poblaciones mayores a 5000 habitantes.

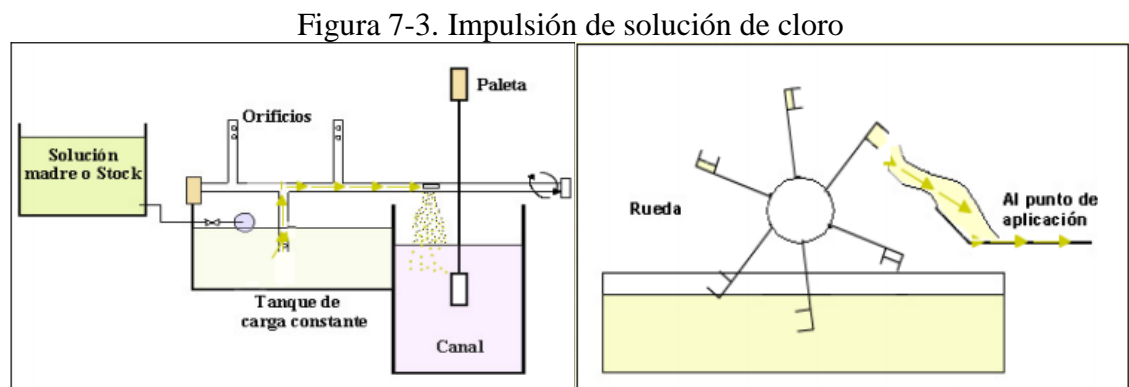


Fuente: <https://goo.gl/PG34Gc>

- **Alternativa B.**

Cloro en solución. Trabajan bajo presión atmosférica con una bomba de diafragma positiva, el cloro en solución es impulsado con dosificadores de paletas en canal o rueda de Arquímedes.

Este sistema es aplicado en poblaciones menores a 5000 habitantes.



Fuente: <https://goo.gl/ZoLqbY>

- **Alternativa C.**

Cloro sólido. Funcionan bajo el principio de carga constante con un dosificador de erosión que disuelve gradualmente las pastillas de hipoclorito de calcio, este dosificador permite dosificar hasta un caudal de 125ml/s para una concentración de cloro de 0.5 % (5000 mg/l). Este sistema es el más recomendado en lugares rurales con un número menor a 2000 habitantes.

Figura 8-3. Dosificador de hipoclorito de calcio



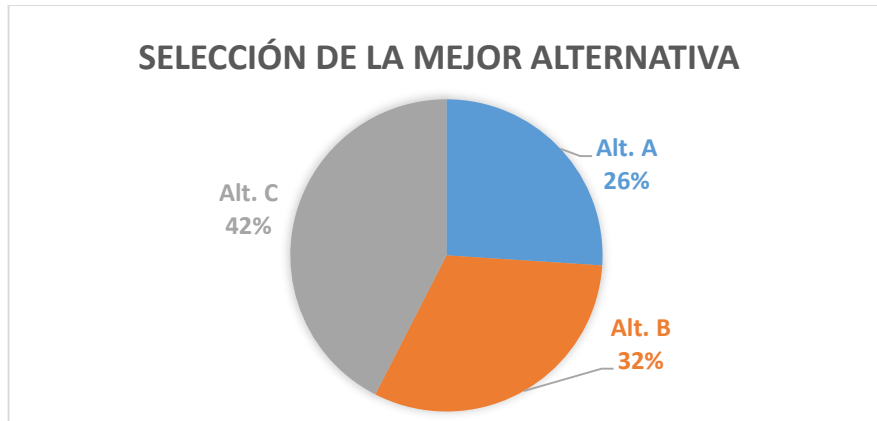
Fuente: <https://goo.gl/viVxpr>

Tabla 3-3. Selección de la mejor alternativa

Criterios	Alt. A		Alt. B		Alt. C	
Costo	Instalación costosa inalcanzable para comunidades pequeñas	10	costo intermedio a elevado para comunidades pequeñas	30	Costo intermedio ideal para comunidades pequeñas	50
Modo de funcionamiento	Ofrece una alta precisión en la dosificación	40	Puede introducirse la solución directamente en la tubería	40	Una de las mejores soluciones para dosificación en la entrada de un tanque	40
N de habitantes	>5000 a grandes ciudades	10	<5000	30	<4000	50
Precisión	Excelente	50	Muy buena	40	Muy buena	40
Facilidad de automatización	Utiliza equipos auxiliares difíciles de calibrar	50		50		50
Mantenimiento	El personal necesita capacitación si no es operado adecuadamente puede ser peligroso debido al gas venenoso	20	El personal necesita capacitación	20	El personal necesita un mínimo de capacitación para su operación y mantenimiento	40
Seguridad	Graves problemas de fuga del gas. Mortal	10	Problemas de derrame del liquido	20	Fácil de manejar no hay derrames	40
Valoración:	<b>190</b>		<b>230</b>		<b>310</b>	

Fuente: Autores

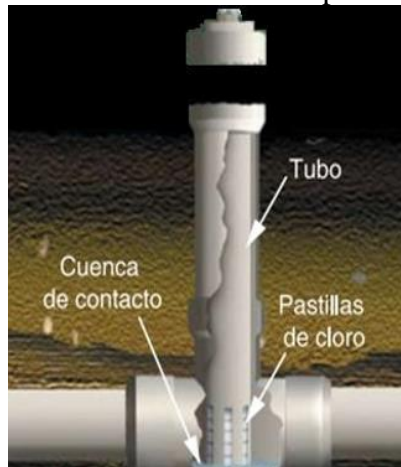
Gráfico 2-3. Selección del sistema de clorado



Fuente: Autores

Según la valoración total de la tabla de ponderación se puede observar que el mayor puntaje se obtiene en la alternativa C (cloración solida), por lo tanto, será el sistema que se seleccione, el caserío cuenta con un número reducido de habitantes, este sistema es el más indicado en lugares rurales por su costo y facilidad de mantenimiento.

Figura 9-3. Cloración solida por erosión



Fuente: <https://goo.gl/ZoLqbY>

**3.3.2 Selección de dosificador.** Se inicia con la selección del dosificador para identificar los accesorios que vienen incluidos y analizar la metodología de su funcionamiento, para su automatización y monitoreo.

Como se mencionó anteriormente el sistema estará conformado por varios elementos que se deben seleccionar en base a las necesidades y a su calidad.

En el mercado existen diversos dosificadores entre los más populares están:

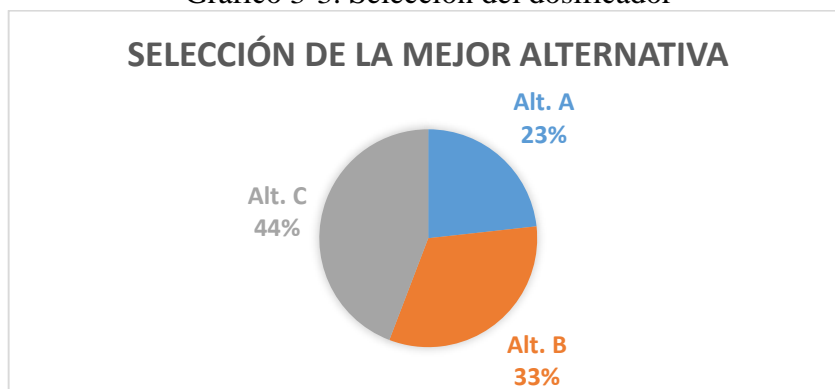
- **Alternativa A.** Bomba dosificadora Klorman 2000
- **Alternativa B.** Dosificador Hydro-tab
- **Alternativa C.** Dosificador Accu-tab

Tabla 4-3. Selección de la mejor alternativa

Criterios	Alt. A	Alt. B	Alt. C
Costo	20	30	50
Control de caudal	40	40	40
Uso de pastillas	10	30	50
Tipo de Material	30	40	50
Valoración:	<b>100</b>	<b>140</b>	<b>190</b>

Fuente: Autores

Gráfico 3-3. Selección del dosificador



Fuente: Autores

Se seleccionó un dosificador Accu-tab por sus dimensiones y tipo de material, las características e imagen se aprecian a continuación.

Figura 10-3. Dosificador de pastillas Accu-tab



Fuente: <https://goo.gl/ZoLqbY>

Tabla 5-3. Características

Características
Dosificador de pastillas de hasta 10 KG
Soporta caudales de hasta 0.35 lts/seg
Fabricado en ABS
Conexión de 20 mm de diámetro
Mínimo mantenimiento

Fuente: <https://goo.gl/ZoLqbY>

Accesorios del dosificador de pastillas Accu-tab

Dosificador de pastillas Accu-tab

Tubería ¾" (codos, uniones)

Válvula de globo

### 3.4 Funcionamiento del sistema de cloración y selección de elementos para automatizar y monitorear el sistema de clorado

El sistema de cloración que se implementará en el caserío Mollapamba funcionará bajo el sistema de erosión, un dosificador será el encargado de disolver gradualmente pastillas de hipoclorito de calcio de alta concentración al hacer fluir una corriente de agua a través de estas.

El agua bajará desde un tanque elevado de 200 litros hacia el dosificador para mantener un flujo constante de agua según las pastillas se vayan diluyendo es necesario que se realice el cambio por otras nuevas.

Mientras las pastillas se vayan diluyendo la solución de cloro concentrada caerá por gravedad hacia el tanque reservorio en las concentraciones necesarias, finalmente el agua del reservorio será impulsada mediante una bomba hacia un tanque que se encuentra en un lugar con gran elevación de donde el agua será distribuida a las casas de los habitantes del caserío.

Para el sistema empleado se plantea la automatización del clorado, es decir, dosificar automáticamente. El sistema se monitoreará su funcionamiento inalámbricamente, en el consistirá en visualizar datos como: nivel de cloro, cantidad de agua existente en el tanque de almacenamiento

Al momento de trabajar con pastillas que se diluyen también se realizara un monitoreo del mismo es precisamente en este proceso donde se colocaran sensores que medirán el nivel de las pastillas dentro del dosificador, cuando se presente un nivel crítico (nivel mínimo) el sistema enviará una señal de alarma mediante llamada al teléfono móvil del encargado de monitorear el sistema con ayuda de un Arduino y una red GPRS.

**3.4.1** *Selección de elementos para automatizar el sistema de cloración.* El sistema de cloración seleccionado funciona de forma manual, para empezar la dosificación se calcula la cantidad de agua en el tanque de almacenamiento y la apertura de la llave hacia el flujometro se lo realiza de forma manual, para la dosificación del cloro.

Para automatizar los procesos se debe realizar el cálculo automático de la cantidad de agua existente en el tanque de almacenamiento y la apertura automática de la llave de paso hacia el flujometro. Con estos requerimientos se procede a la selección de los elementos.

**3.4.1.1** *Selección del medidor de volumen o nivel del agua.* Volumen o nivel es una de las variables de proceso más utilizada en un entorno industrial, específicamente en el control de almacenamiento de materias primas liquidas y sólidas en general.

En la selección del tipo de medidor tienen preferencia, técnicamente, los medidores estáticos frente a los que tienen partes móviles y los que no necesitan contacto con el fluido y se ubican en lugares exteriores al recipiente, así como los que requieren menor modificación en la estructura del recipiente y sus soportes, especialmente cuando éstos están ya contruidos.

Actualmente los métodos de medición más comunes se pueden citar de la siguiente forma:

#### **Alternativa A.**

Sistema de medición por plomada. En estos sistemas se sondea desde la parte superior del silo la superficie del producto y se compara con la altura del silo, la diferencia de altura es el nivel del producto. Este tipo de indicadores se conocen como silo pilots. (BAUTISTA, 2013)



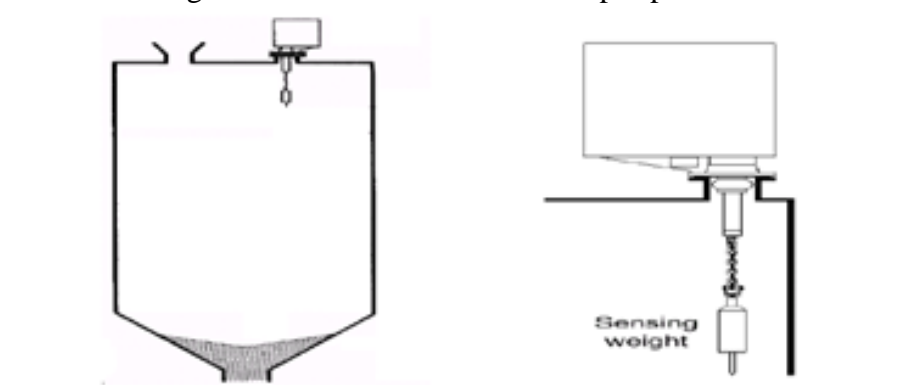
Ventajas:

- Adecuado para silos muy altos de más de 30 m
- Adecuado para diversos productos, como materiales áridos de grano grueso (como cal, piedra, grava o carbón mineral)

Desventajas:

- Entrega mediciones discretas
- Requiere mantenimiento

Figura 11-3. Método de medición por plomada



Fuente: <https://goo.gl/ufW5dr>

### **Alternativa B.**

Medición de niveles por ultrasonido. El método de reflexión del sonido se basa en medir el tiempo de retorno de un pulso de sonido emitido por un sensor. El pulso ultrasónico emitido se refleja en la superficie del producto y el mismo sensor vuelve a detectarlo. El tiempo de retorno de la señal es una medida indirecta de la altura de la sección vacía del tanque. Si a esta distancia se le resta la altura total del tanque, se obtiene el nivel del producto. El tiempo de retorno se convierte en una señal de salida analógica. (BAUTISTA, 2013)

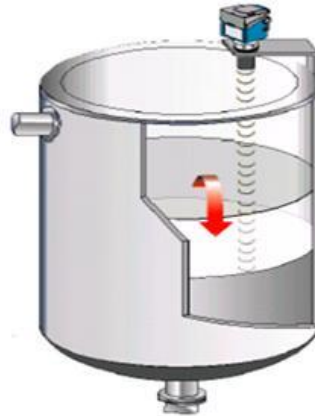
Ventajas:

- No hay contacto con el producto
- Adecuado para diversos líquidos y materiales granulados

Desventajas:

- El producto no debe producir demasiada espuma en la superficie
- El método no es adecuado a altas presiones ni altas temperaturas
- No es aplicable en condiciones de vacío

Figura 12-3. Medición de niveles por ultrasonido.



Fuente: <https://goo.gl/ufW5dr>

### **Alternativa C.**

Detección y medición radiométrica de niveles. El principio del funcionamiento de este instrumento, es que cuando hay producto en el tanque o silo, un haz de rayos gamma que lo atraviese se atenúa. Este es el único método totalmente no invasivo. Ningún elemento del sistema entra en contacto con el medio ni con la atmósfera del proceso. (BAUTISTA, 2013)

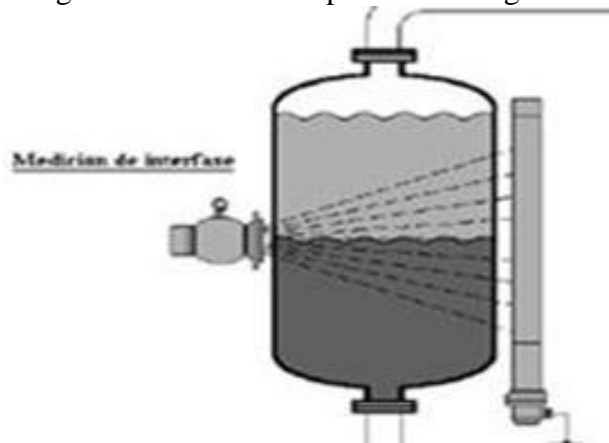
Este método se emplea como indicador de nivel e interruptor de nivel y solo se usa si las condiciones son muy extremas, es decir, altas presiones, temperaturas altas, productos abrasivos, tóxicos, corrosivos o pegajosos. Esto es así principalmente porque la radiación gamma no requiere equipo dentro del tanque o reactor, puesto que penetra fácilmente las paredes del tanque. (BAUTISTA, 2013)

Para la medición de nivel, la fuente de rayos gamma emite un haz con un ángulo de salida de aproximadamente 20° o 40°. En el extremo opuesto de la fuente se dispone un detector de rayos gamma conectado eléctricamente con un transmisor de nivel que proporciona una señal de salida.

La intensidad de la fuente de radiación está calculada de modo que cuando el tanque está vacío, el detector transmite justamente los pulsos necesarios para que el amplificador interruptor de nivel o el indicador de nivel procesen una señal.

A medida que el nivel del producto aumenta, la radiación se atenúa, el detector deja de transmitir suficientes pulsos y el instrumento indica nivel alto. (BAUTISTA, 2013)

Figura 13-3. Medición por radiación gama



Fuente: <https://goo.gl/ufW5dr>

#### Ventajas:

- Adecuado para todos los productos y su montaje no causa ningún tipo de obstrucción
- Los sistemas de medición de nivel por rayos gamma ni siquiera requiere modificaciones en el tanque
- No hay contacto con el producto
- Adecuado para altas presiones y altas temperaturas

#### Desventajas:

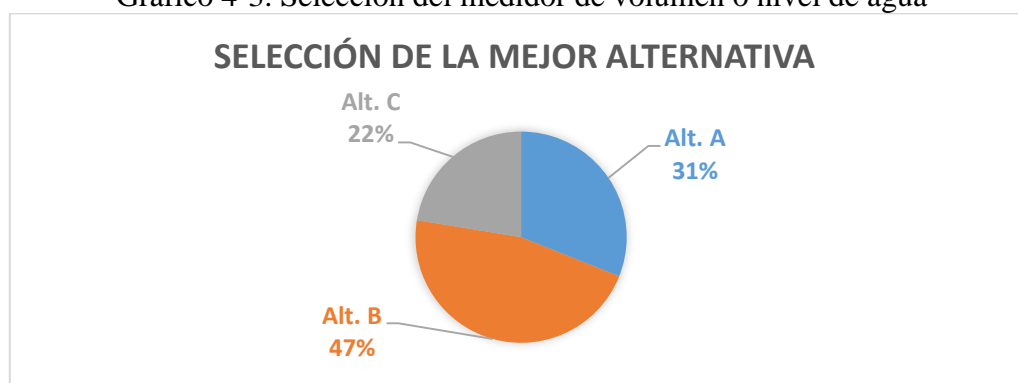
- Se requieren medidas especiales de seguridad
- Alto costo
- Interfaz electrónica relativamente compleja

Tabla 6-3. Selección de la mejor alternativa

Criterios	Alt. A		Alt. B		Alt. C	
Instalación	Facilidad de instalación	50	Facilidad de instalación	50	Dificultad de instalación, por el motivo q el tanque de almacenamiento de encuentra enterrado	10
Tipo de valores para automatizar	Valor digital	10	Valores analógicos	50	Valores analógicos	40
costo	costo intermedio a elevado para comunidades pequeñas	40	Costo intermedio ideal para comunidades pequeñas	40	Instalación costosa inalcanzable para comunidades pequeñas	10
Modo de funcionamiento	Ofrece una alta precisión, su funcionamiento es tipo switch	20	Ofrece una alta precisión, su funcionamiento es el envío y recepción de datos en tiempo real	40	Ofrece una mediana precisión, su funcionamiento es el envío y recepción de datos se demora en procesarlos por el espesor del elemento reservorio.	30
Facilidad de automatización	Utiliza equipos auxiliares fáciles de calibraren PLC, Arduino o microcontrolador	30	Utiliza equipos auxiliares fáciles de calibraren PLC, Arduino o microcontrolador	50	Utiliza equipos auxiliares difíciles de calibrar en, Arduino o microcontrolador, solo en PLC	10
Mantenimiento	El personal necesita un mínimo de capacitación para su operación y mantenimiento	30	El personal necesita capacitación	40	El personal necesita capacitación si no es operado adecuadamente puede dañarse	10
Valoración:	180		270		130	

Fuente: Autores

Gráfico 4-3. Selección del medidor de volumen o nivel de agua



Fuente: Autores

Según la valoración total de la tabla de ponderación se puede observar que el mayor puntaje se obtiene en la alternativa B (Medición de niveles por ultrasonido), por lo tanto, será el sistema que se seleccione, este sistema es el más indicado en lugares rurales por su costo y facilidad de mantenimiento.

**3.4.1.2** *Selección del sensor de medición de niveles por ultrasonido.* Sensor de medida de distancias por ultrasonidos srf04 es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia. Funciona mediante ultrasonidos y contiene el sensor propiamente dicho y el circuito de acondicionamiento. Emite un impulso y mide la anchura del impulso de retorno. Se mide el tiempo que tarda en recibirse el eco de un impulso emitido, debido a la reflexión sobre un objeto presente en el camino de propagación de la radiación. El objeto puede ser un líquido, un sólido, granular o polvo, con la única restricción de que debe tener una impedancia acústica muy diferente de la del medio en el que se propagan los ultrasonidos, para que la mayor parte de la radiación se refleje. Es de muy pequeño tamaño y destaca por su bajo consumo, gran precisión y bajo precio. (PERÉZ, 2015)

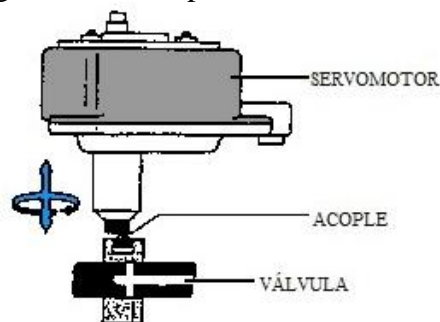
Figura 14-3. SRF04



Fuente: <https://goo.gl/3rv1Rt>

**3.4.1.3** *Selección del mecanismo para la apertura del paso de agua para dosificación.* La metodología para el funcionamiento del clorado es medir el volumen del agua y abrir el paso del agua al flujometro, pero en cantidades establecidas, es decir, controlar la apertura gradual del agua o el cierre total. Con esta metodología se procede al diseño del acople de un servomotor con la válvula por el motivo que no se encuentra en el mercado mecanismos pequeños que se acoplen al sistema. (Chauca, y otros, 2012)

Figura 15-3. Acople servomotor-válvula



Fuente: <https://goo.gl/bxnudX>

Una vez identificado el diseño se procede a seleccionar el servomotor a utilizar, para poder seleccionarlo se debe saber la fuerza manual necesaria para girar la válvula el cual es de 6kgf.

Tabla 7-3. Característica de la válvula de globo

Torque máx.	Ø del volante	Nº vueltas volante	Fuerza máx. manual
41 Nm	40 mm	1 vuelta	4 kgf
50 Nm	45 mm	1 vuelta	6 kgf

Fuente: <https://goo.gl/bxnudX>

Los servomotores más comunes según el mercado actual en Ecuador se encontraron de 1,2 kgf, 4kgf y de 9 a 13kgf es por el cual solo se tomaron en cuenta para la selección los siguientes

- **Alternativa A.** Servomotor TowerPro MG996R

Figura 16-3. Servomotor TowerPro MG996R



Fuente: <https://goo.gl/EQWn7n>

Tabla 8-3. Características Servomotor TowerPro MG996R

Modulación:	Digital	Tipo de engranaje:	Metal
Esfuerzo de torsión:	<b>4.8V:</b> 130,54 oz-in (9,40 kg-cm) <b>6.0V:</b> 152,76 oz-in (11.00 kg-cm)	Rotación / Soporte:	Cojinetes dobles
Velocidad:	<b>4,8 V:</b> 0,19 seg / 60° <b>6,0 V:</b> 0,15 seg / 60°	Ciclo del pulso:	1 ms
Peso:	1,94 oz (55,0 g)	Marca	<b>Tower pro</b>
Dimensiones:	<b>Largo:</b> 1.60 in (40.7 mm) <b>Ancho:</b> 0.78 in (19.7 mm) <b>Altura:</b> 1.69 in (42.9 mm)	Precio	\$10,50

Fuente: <https://goo.gl/EQWn7n>


- **Alternativa B. Hitec HS-755HB**

Figura 17-3. Hitec HS-755HB



Fuente: <https://goo.gl/P7k5Rr>

Tabla 9-3. Características Hitec HS-755HB

Modulación:	Cosa análoga	Rotación / Soporte:	Cojinetes dobles
Esfuerzo de torsión:	<b>4.8V:</b> 153,00 oz-in (11.02 kg-cm) <b>6.0V:</b> 183.00 oz-in (13.18 kg-cm)	Rango de rotación:	180 °
Velocidad:	<b>4,8 V:</b> 0,28 seg / 60° <b>6,0 V:</b> 0,23 seg / 60°	Ciclo del pulso:	20 ms
Peso:	3,88 onzas (110,0 g)	Ancho de pulso:	900-2100 µs
Dimensiones:	<b>Largo:</b> 2.32 in (58.9 mm) <b>Ancho:</b> 1.14 in (29.0 mm) <b>Altura:</b> 1.96 in (49.8 mm)	Marca	
Tipo de engranaje:	El plástico	Precio	12.95 USD

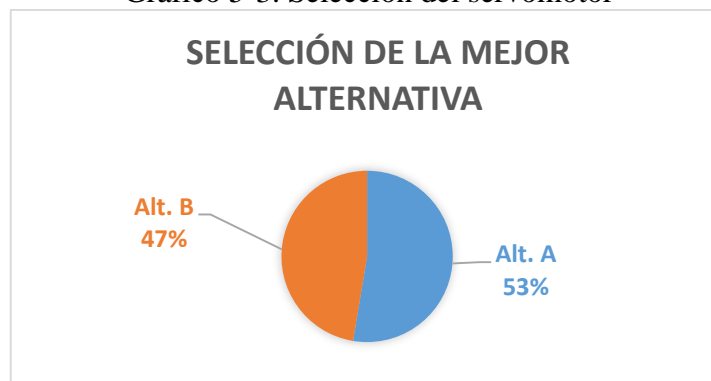
Fuente: <https://goo.gl/P7k5Rr>

Tabla 10-3. Tabla de ponderación

Criterios	Alt. A		Alt. B	
Costo	Conveniente	50	Poco costoso	40
Tipo de engranaje	Metal	50	Plástico	40
Valoración:	<b>100</b>		<b>80</b>	

Fuente: Autores

Gráfico 5-3. Selección del servomotor



Fuente: Autores

En cuestión a costo y material de los engranajes se seleccionó la alternativa Al Servomotor TowerPro MG996R, solo se analizó esos dos parámetros, ya que en sus características son muy similares.

**3.4.1.4 Selección del elemento que procesara los datos y ejecutara las órdenes para el sistema.** Se refiere el elemento que comandara la automatización des sistema (el cerebro), se va a tomar las siguientes alternativas existentes en el mercado y las cuales se ajusten a las exigencias del sistema.

- **Alternativa A.**

Un controlador lógico programable o “autómata” es un dispositivo electrónico, conformado con una memoria interna programable por el usuario, la cual es usada para el almacenamiento de funciones específicas tales como: lógicas, contadoras, temporizadas, operaciones aritméticas, etc. Un autómata se utiliza para controlar a través de entradas y salidas digitales o analógicas, maquinas o procesos lógicos y/o secuenciales dentro de un entorno industrial, están disponibles en varias formas y tamaños dependiendo de la aplicación que tengan, las restricciones físicas y los ambientes dónde sean ubicados.

Figura 18-3. PLC S7-1200



Fuente: <https://goo.gl/hd3SRq>

- **Alternativa B**

Tarjeta Arduino. Arduino es una placa con un microcontrolador de la marca Atmel y con toda la circuitería de soporte, que incluye, reguladores de tensión, un puerto USB conectado a un módulo adaptador USB-Serie que permite programar el microcontrolador



desde cualquier PC de manera cómoda y también hacer pruebas de comunicación con el propio chip.

Un Arduino dispone de 14 pines que pueden configurarse como entrada o salida y a los que puede conectarse cualquier dispositivo que sea capaz de transmitir o recibir señales digitales de 0 y 5 V DC.

También dispone de entradas y salidas analógicas. Mediante las entradas analógicas podemos obtener datos de sensores en forma de variaciones continuas de un voltaje.

Figura 19-3. Tarjeta Arduino



Fuente: <http://goo.gl/W9spcB>

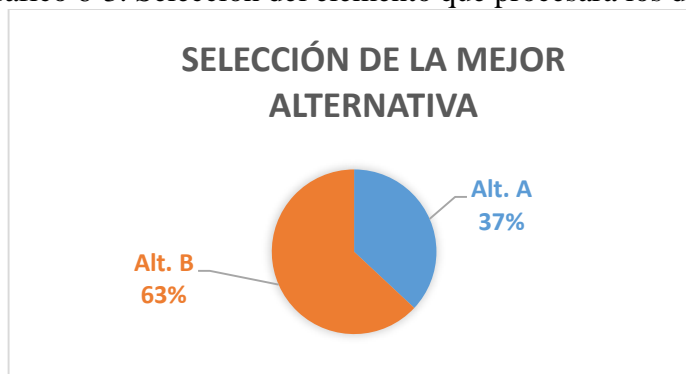
Tabla 11-3. Selección de la mejor alternativa

Criterios	Alt. A		Alt. B	
Software de control	Por la compra del producto	30	libre	30
Facilidad de programación	Su programación no resulta fácil	30	Facilidad de programación	30
Entradas analógicas	Cuenta con entradas analógicas	50	Cuenta con entradas analógicas	50
Salidas PWM	Necesita de un módulo de expiación	20	Cuenta con salidas PWM ideales para controlar servomotores	20
Costo	Su costo es elevado alrededor de los \$500	10	Es accesible para el usuario el más costoso esta alrededor de \$30	10
Mantenimiento	El personal necesita capacitación	30	El personal necesita un mínimo de capacitación para su operación y mantenimiento	30
Valoración:	170		290	

Fuente: Autores

Según la valoración total de la tabla de ponderación se puede observar que el mayor puntaje se obtiene en la alternativa B (Tarjeta Arduino), por su costo y facilidad de mantenimiento.

Gráfico 6-3. Selección del elemento que procesara los datos







Fuente: Autores

**3.4.1.5 Selección de Arduino.** Se debe tener en consideración que el Arduino formará un control de monitoreo por tanto se debe tomar en cuenta la compatibilidad de accesorios para monitoreo inalámbrico

Se consideran tres opciones:

- **Alternativa A.** Arduino nano
- **Alternativa B.** Arduino uno
- **Alternativa C.** Arduino mega

Tabla 12-3. Características de los Arduino nano, uno, mega

			
Fabricante	Arduino	Arduino	Arduino
Modelo	Nano	Uno	Mega / Mega 2560
Microcontrolador	AVR ATmega 168 ó 328 8bits	AVR ATmega 328 8bits	AVR ATmega2560 8bits
Frecuencia	16Mhz	16Mhz	16Mhz
Memoria RAM	2KiB	2KiB	8KiB
Memoria EEPROM	1KiB	1KiB	4KiB
Memoria FLASH	16 ó 32KiB	32KiB	128 ó 256KiB
Pines digitales entradas/salidas	14/14	14/14	54/54
Tensión/corriente pines digitales	5v 40mA	5v 40mA	5v 40mA
Pines analógicos entradas/salidas	8/0	6/0	16/0
Tensión/resolución pines analógicos	5v 10bits (1024 valores)	5v 10bits (1024 valores)	5v 10bits (1024 valores)
Pines con interrupción externa	2	2	6
Pines PWM	6	6	15

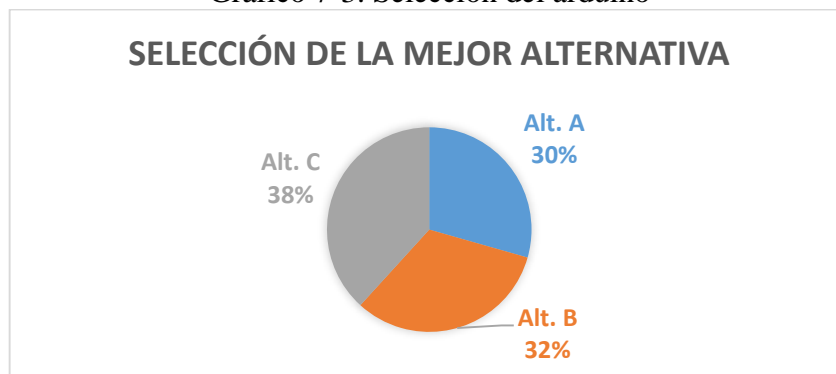
Fuente: <https://goo.gl/Wju7dN>

Tabla 13-3. Tabla de ponderación

Criterios	Alt. A		Alt. B		Alt. C	
Costo	Muy conveniente	50	Conveniente	40	Accesible	30
Compatibilidad con accesorios para monitoreo inalámbrico	Por su diseño se limita la compatibilidad	20	Buena compatibilidad	40	Excelente compatibilidad por la cantidad de pines	50
Numero de pines de entrada, salida, analógicos, pwm	14 pines dificultad de acoples con shields	30	14 pines facilidad de acoples con shields	40	54 pines facilidad de acoples con shields	50
Valoración:	<b>100</b>		<b>110</b>		<b>130</b>	

Fuente: Autores

Gráfico 7-3. Selección del arduino



Fuente: Autores

Se seleccionó un microcontrolador Arduino Mega por su bajo costo y características de compatibilidad con accesorios para monitoreo inalámbrico.

Figura 20-3. Arduino Mega



Fuente: <https://goo.gl/F8R3vC>

Tabla 14-3. Características Arduino Mega

Voltaje de operación de 5v
Voltaje de operación de 7 a 12 v
Flash Kb (32)
I/O digitales /PWM 54/54/15
Pines Analógicos (I/O) 16/0
Compatibilidad con shields excelente

Fuente: <https://goo.gl/F8R3vC>

**3.4.1.6** *Sensor semiconductor para control de calidad del aire.* El material sensible del sensor de gas MQ135 es  $\text{SnO}_2$ , que con menor conductividad en aire limpio. Cuando existe el gas combustible objetivo, la conductividad del sensor es más alta junto con el aumento de la concentración de gas. Utilice el electro circuito simple, cambie el cambio de conductividad para corresponder la señal de salida de la concentración de gas. El sensor de gas MQ135 tiene alta sensibilidad al vapor de Amoniac, Sulfuro y Benze, también sensible al humo y otros gases nocivos. Es con bajo costo y adecuado para diferentes aplicaciones. (Electronics, 2016)

Figura 21-3. Sensor de aire Mq-135 Arduino – Pic



Fuente: <https://goo.gl/DwXAaa>

#### **Configuración de caracteres**

- Buena sensibilidad a los gases dañinos en la amplia gama
- Alta sensibilidad a Amoniac, Sulfuro y Benze
- Larga vida y bajo costo
- Simple circuito de la unidad de aplicación
- Detector doméstico de la contaminación del aire
- Detector industrial de la contaminación del aire
- Detector portátil de contaminación del aire.

**3.4.2** *Selección de elementos para monitorear el sistema de cloración automatizado.* Para el monitoreo inalámbrico se va a tomar en cuenta que el sistema va a ser controlado por Arduino, se analiza las conexiones inalámbricas para su monitoreo.

Se plantea este método con el fin de que la persona encargada de la supervisión y mantenimiento lo monitoree desde la comodidad de su hogar en tiempo real y teniendo en cuenta la facilidad de uso, es decir, que el encargado solo encienda el monitoreo y pueda visualizar.

**3.4.2.1 Selección del módulo para la conexión inalámbrica.** Para el monitoreo se analiza los siguientes módulos o shields los cuales son los más comunes en el mercado:

- **Alternativa A.** Módulo bluetooth hc05

Figura 22-3. Módulo bluetooth hc05



Fuente: <https://goo.gl/DrbLU8>

El módulo bluetooth HC-05 viene configurado de fábrica para trabajar como maestro o esclavo. En el modo maestro puede conectarse con otros módulos bluetooth, mientras que en el modo esclavo queda a la escucha peticiones de conexión. Agregando este módulo a tu proyecto podrás controlar a distancia desde un celular o una laptop todas las funcionalidades que desees. (Electronics, 2016)

**Características:**

3.3 / 5 v.

Chip BC417143

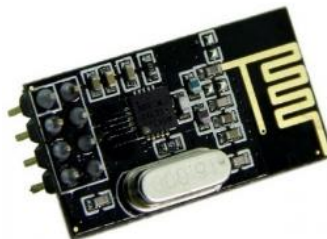
Alcance 10 m

Nivel TTL

1200bps a 1.3Mbps

- **Alternativa B.** Módulo de radio frecuencia nRF24L01

Figura 23-3. Módulo de radio frecuencia nRF24L01



Fuente: <https://goo.gl/sgKufC>

El módulo RF basado en el chip Nordic nRF24L01, es ultra compacto y de muy bajo consumo. Trabaja a frecuencias de 2.4GHz (frecuencia libre) y es ideal para proyectos de telemetría, control de periféricos, industria y afines. Incorpora un transceiver RF de 2.4GHz, un sintetizador RF, algoritmos de control de errores y un acelerador para trabajar con interfaz SPI. (Electronics, 2016)

### **Características**

Trabaja en la banda libre de 2.4GHz

Velocidades de 250kbps, 1Mbps y 2Mbps

Muy bajo consumo en el orden de los 20 uA.

### **Aplicaciones**

Periféricos para PC

Mandos de video juegos

Telemetría

Electrónica de consumo

### **Especificaciones**

Alimentación: 1.9~3.6V

Voltaje puertos IO: 0~3.3v / 5v

Sensibilidad de Recepción:  $\leq -90\text{dB}$

Alcance: 15~30 m (lugares cerrados) hasta 100 m (áreas abiertas)

Dimensiones: 15x29mm

- **Alternativa C. Módulo xbee**

Figura 24-3. Módulo xbee



Fuente: <https://goo.gl/mZaXf1>

El módulo XB24-Z7WIT-004 forma parte de la familia Xbee Serie 2 que proporciona interoperabilidad con dispositivos ZigBee de otros fabricantes. Este módulo sólo es compatible con otros módulos Xbee Serie 2, no es compatible con la serie XBee 1.

Es compatible sólo con la serie 2 de la familia. Distancia de comunicación poco más larga: 400 pies (122 metros) línea de vista para el módulo de 1,25 mW y hasta 2 millas (3.2 Km) de línea de vista para el módulo de 60 mW. Velocidad máxima de transmisión de hasta 1 Mbps. Lleva 2 entradas A/D menos y dos E / S digitales más que la serie 1

Debido a que los módulos XBee tienen 2 mm de distancia entre pines será necesario el uso de un adaptador con pines de salida de 0.1 pulgadas de espacio para la conexión a una placa estándar o protoboard. (TecBolivia, 2017)

### Características:

Antena de cable

Compatible con otros módulos de la Serie 2

Bajo consumo de energía en modo de suspensión (sleep)

133 pies (40 m) para ambientes interiores/urbanos y 400 pies (120 m) de alcance en exteriores, línea de vista

Configuración con comandos de la API o AT, localmente o por aire

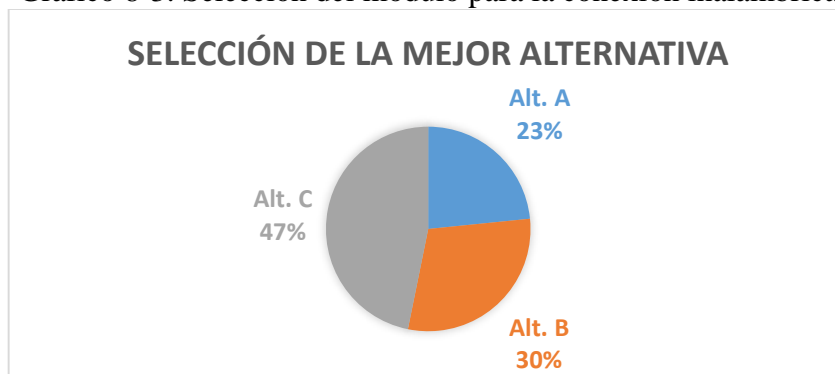
10 E / S digitales y 4 entradas ADC de 10 bits

Tabla 15-3. Selección de la mejor alternativa

Criterios	Alt. A		Alt. B		Alt. C	
Facilidad de programación	Su programación no resulta fácil	30	Facilidad de programación	30	Facilidad de programación	50
fiabilidad de conexión	No cuenta con una conexión estable	10	No cuenta con una conexión estable	20	Cuenta con una conexión estable	50
Alcance inalámbrico	10metros	20	15 metros	30	120 metros	40
Metodología de conexión	Mediante BT, con otro dispositivo móvil que con BT	20	Mediante radio frecuencia	20	Envío y recepción de datos	40
Mantenimiento	El personal necesita un mínimo de capacitación para su operación y mantenimiento	30	El personal necesita un mínimo de capacitación para su operación y mantenimiento	40	El personal necesita un mínimo de capacitación para su operación y mantenimiento	40
Valoración:	<b>110</b>		<b>140</b>		<b>220</b>	

Fuente: Autores

Gráfico 8-3. Selección del modulo para la conexión inalámbrica



Fuente: Autores

Según la valoración total de la tabla de ponderación se puede observar que el mayor puntaje se obtiene en la alternativa C (módulo Xbee), por su fiabilidad de conexión y metodología.

**3.4.2.2 Selección del elemento de visualización de datos.** Para la visualización de los datos se va seleccionar entre una gama de pantallas LCD más populares en el mercado la que mejor se acople al proyecto, son la solución perfecta para presentar información y monitorear el proceso.

- **Alternativa A. LCD 1602**

Figura 25-3. LCD 1602



Fuente: <https://goo.gl/yV9KRK>

Display LCD alfanumérico de 16x2. Back light tipo LED color azul. Interface paralela. 5V. Controlador compatible HD44780. (Caldas, 2016)

**Características:**

16 caracteres x 2 líneas

Caracteres de 5x8 puntos



Tamaño de carácter: 5.23 x 3 mm

Puede mostrar letras, números, caracteres especiales, y hasta 8 caracteres creados por el usuario

Back light de LED color azul

Caracteres color blanco

Interface paralela. Puede operar en modo de 8 bits, o de 4 bits para ahorrar pines del microcontrolador

Posee controlador KS0066U o equivalente on-board (compatible Hitachi HD44780)

Voltaje de alimentación: 5 V

- **Alternativa B.** Pantalla Nextion NX3224T028

Figura 26-3. Pantalla Nextion NX3224T028



Fuente: <https://goo.gl/z1NMg9>

Esta solución incluye hardware en parte de una serie de placas de TFT y otra de software que es el editor de Nextion. La pantalla Nextion sólo utiliza un puerto serie para hacer la comunicación. El editor Nextion tiene componentes masivos tales como botones, texto, barra de progreso, slider, panel de instrumentos, etc. para enriquecer el diseño de su interfaz. Es fácil de adaptar la familia Nextion HMI a los proyectos existentes, sólo tiene que proporcionar un protocolo UART.

**Características:**

Resolución 320 x 240

RGB 65K fiel a los colores de la vida

Pantalla TFT panel resistivo táctil

Fácil interfaz de 4 pines a cualquier TTL Host Serial

Memoria Flash 4M para Código de usuario, aplicaciones y datos

Ranura para tarjeta micro-SD para actualización de firmware

Área Visual: 57.6mm x 43.2mm

Brillo ajustable: 0 ~ 180 nit, el intervalo de ajuste es de 1%

Consumo de energía 5V65mA.

- **Alternativa C. TFT\_320QVT\_9341**

Figura 27-3. TFT\_320QVT\_9341



Fuente: <https://goo.gl/umgB1e>

Display LCD TFT gráfico (GLCD) a 65k colores, 320 x 240, 3.2" con interfaz táctil (Touch screen), conector para tarjetas SD, 3.3 V. (Caldas, 2016)

**Características:**

Pantalla LCD TFT Ref. TJC-9341-032

320 x 240 pixeles, 3.2"

65k colores

Back light a LED blanco

Ángulo de visión amplio

Permite control total para crear formas gráficas, texto y números

Controlador del LCD ILI9341 on-board

Controlador touch XPT2046 on-board

Conector para tarjetas de memoria SD

Conector de 40 pines que proporciona las señales de los buses del LCD, touchscreen, tarjeta SD chip de memoria flash (Chip no incluido)

Interface en modo de 16 bits

Voltaje de señales lógicas: 3.3 V. Conectar la pantalla a señales de voltajes mayores como por ej. 5 V puede dañarla.

Voltaje de alimentación (Pin VCC): 5 V

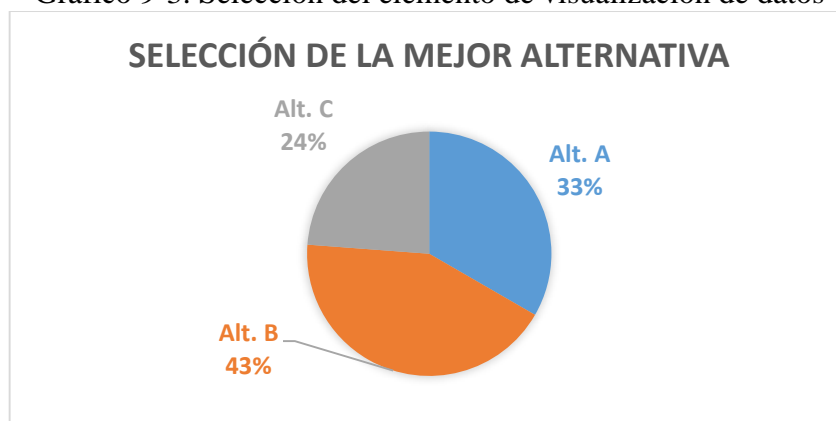
Tamaño total: 94 mm x 65 mm x 16 mm aprox.

Tabla 16-3. Selección de la mejor alternativa

Criterios	Alt. A		Alt. B		Alt. C	
Facilidad de programación	Facilidad de programación	40	Facilidad de programación	50	Su programación no resulta fácil	30
Interfaz con el usuario	Presentación en letras blancas y fondo azul	20	Presenta una pantalla a color	40	Presenta una pantalla a color	30
Conexión con Arduino	Necesita de otro dispositivo para reducir sus pines de conexión	40	Es sencilla no ocupa muchos pines	50	Ocupa varios pines	20
Mantenimiento	El personal necesita un mínimo de capacitación para su operación y mantenimiento	40	El personal necesita un mínimo de capacitación para su operación y mantenimiento	40	El personal necesita capacitación	20
Valoración:	<b>140</b>		<b>180</b>		<b>100</b>	

Fuente: Autores

Gráfico 9-3. Selección del elemento de visualización de datos



Fuente: Autores

Según la valoración total de la tabla de ponderación se puede observar que el mayor puntaje se obtiene en la alternativa B (Pantalla Nextion NX3224T028), por su fiabilidad de conexión y presentación hacia el usuario.

**3.4.3 Selección de elementos para monitorear las pastillas del sistema de cloración automatizado.** Es esencial monitorear la cantidad de pastillas que se encuentran en la cloradora ya que es el elemento primordial para el funcionamiento del sistema.

Se instalaran sensores que indicara el nivel de pastillas que van quedado después de ser diluidas, el sistema monitoreara e indicara desde que se encuentra en el 50%, 25% y finalmente en el 10% en el cual se ejecutara una alerta para que el sistema sea recargado, la alerta consiste en que el sistema realiza una llamada al celular del encargado, ya que, el celular hoy en día es un elemento indispensable y se lo lleva a todo lugar.

El sistema está controlado con Arduino entonces se procederá a la selección de un módulo GSM/GPRS para procesar la llamada de alerta.

**3.4.3.1 Selección de Placa shield GPRS.** Para lograr una conexión inalámbrica vía SMS se necesita contar con una Placa GPRS, según investigaciones bibliográficas las más utilizadas para mandos pequeños son dos:

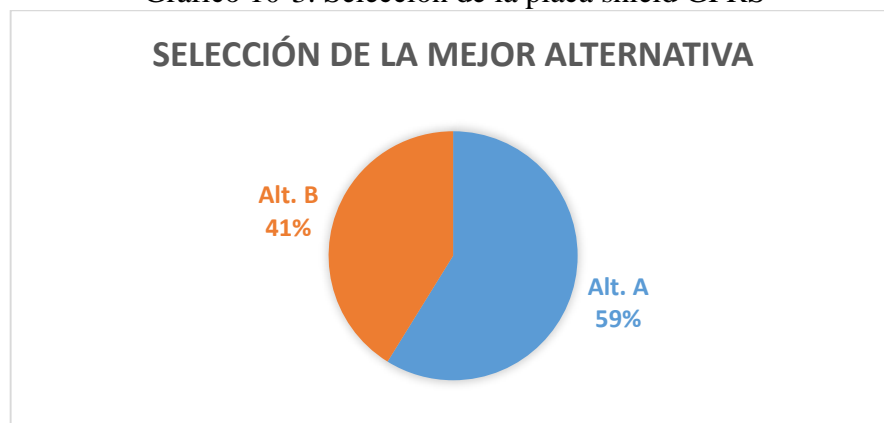
- **Alternativa A.** Placa shield GPRS sim 900
- **Alternativa B.** Placa shield GPRS V3.0

Tabla 17-3. Tabla de ponderación

Criterios	Alt. A	Alt. B
Costo	50	40
Compatibilidad con Arduino	50	40
Control bajo comando AT	50	30
Dimensiones	50	30
Valoración:	<b>200</b>	<b>140</b>

Fuente: Autores

Gráfico 10-3. Selección de la placa shield GPRS

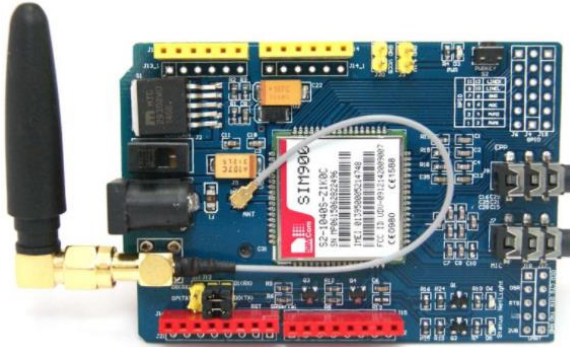


Fuente: Autores

Se seleccionó una tarjeta Shield sim GPRS/GSM 900 por su costo y compatibilidad con microcontroladores Arduino.

La tarjeta seleccionada se aprecia a continuación.

Figura 28-3. Tarjeta Shield sim GPRS/GSM 900



Fuente: <https://goo.gl/y2JWhv>

Tabla 18-3. Características tarjeta Shield sim GPRS/GSM 900

Totalmente compatible con Arduino
Conexión con el puerto serial
Quad-Band 850/ 900/ 1800/ 1900 Mhz
GPRS multi-slot clase 10/8
GPRS mobile station clase B
Compatible GSM fase 2/2+
Clase 4 (2 W (AT) 850 / 900 MHz)
Clase 1 (1 W (AT) 1800 / 1900MHz)

Fuente: <https://goo.gl/y2JWhv>

## CAPÍTULO IV

### 4. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE CLORADO AUTOMATIZADO

#### 4.1 Implementación del sistema automatizado de clorado.

**4.1.1 Zona de recolección.** Una vez seleccionados los elementos se procedió a la implementación del sistema partiendo de su recolección, se realizó un mantenimiento general del área de recolección y adicional se instaló una tubería la cual se dirige a un pequeño tanque reservorio para el funcionamiento de la cloradora, ya que el sistema funciona por gravedad.

**4.1.1.1 Mantenimiento del área y tanque de recolección.** Mediante gestión del presidente del caserío se organizó una minga para realizar un mantenimiento del área y tanque de recolección para que se encuentre 100% funcional.

El sistema de distribución de agua fue construido el 15 de mayo de 1993 fecha la cual fue identificada en el tanque de recolección. Por los años transcurridos las tuberías no se encontraban en condiciones óptimas, las cuales fueron sustituidas y el tanque reacondicionado.

Figura 1-4. Cambio de tuberías



Fuente: Autores

**4.1.1.2** *Instalaciones del tanque para el clorador.* Como el sistema seleccionado funciona por gravedad se instaló un tanque reservorio de 200 litros en lo alto del tanque de almacenamiento, al momento de reemplazar las tuberías se realizó la instalación de dicha toma en paralelo.

Figura 2-4. Instalación de tanque reservorio



Fuente: Autores

**4.1.2** *Automatización del sistema de clorado.* Se procede a la instalación del sistema de clorado para probar su funcionamiento, luego se realiza los acoples necesarios para su automatización.

**4.1.2.1** *Implementación del sistema de clorado.* Una vez identificando el lugar donde se instalara el sistema de clorado, se procedió a la instalación del sistema de clorado con los elementos provenientes de fábrica para comprobar su funcionamiento el cual es identificar la cantidad de agua en el tanque de almacenamiento y regular el paso de agua hacia el dosificador.

Gráfico 1-4. Metodología del sistema de clorado



Fuente: Autores



Figura 3-4. Implementación del sistema de clorado



Fuente: Autores

Una vez verificado el funcionamiento del clorado se procede a su automatización. Para automatizar el sistema se va a implementar un sensor de ultrasonido el cual calculara la cantidad de agua en el tanque de almacenamiento y enviara el dato hacia el Arduino el cual procesará para accionar el servomotor y dar apertura gradualmente a la válvula de paso.

**4.1.2.2** *Instalación del sensor de ultrasonido para el cálculo de volumen.* El funcionamiento del sensor de ultrasonido es medir la cantidad de agua existente en el tanque de almacenamiento.

#### **Calculo de la capacidad del tanque de captación**

Para determinar la cantidad correcta del tanque de almacenamiento se tomaron todas sus medidas y se calculó el volumen según la fórmula:

Capacidad total del tanque

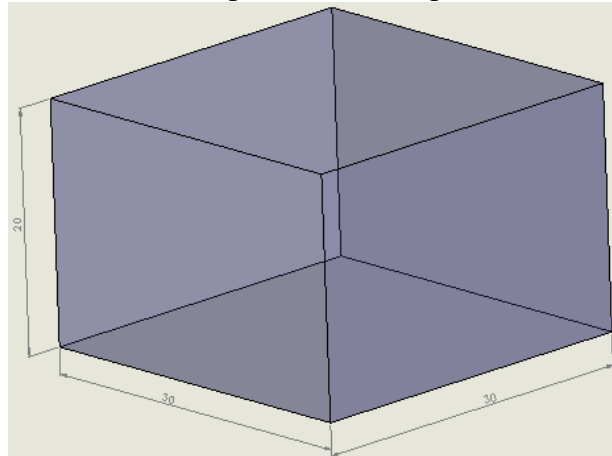
$$V = (2 \times 3 \times 3)m \quad (1)$$

$$V = 18 m^3$$

$$V = 18000 L$$



Figura 4-4. Calculo de capacidad del tanque de almacenamiento



Fuente: Autores

### Capacidad del tanque hasta la altura de reboso

En el tanque de almacenamiento se encuentra implementado un sensor de nivel para que no exista un rebozo en el mismo, es decir el agua alcanzaría solo una altura máxima de 1,7 m al llegar a esa altura el sistema bombea el agua hacia el tanque de distribución

$$V = (1,7 \times 3 \times 3) m$$

$$V = 15,3 m^3$$

$$V = 15300 L$$

### Calculo de medición del sensor ultrasónico

El funcionamiento del sensor ultrasónico es medir la distancia entre él y el objeto en este caso el agua, pero el valor que reflejaría sería el espacio libre es por eso que se aplicara una fórmula:

$$y = \frac{(2m-x) \cdot 18000 \text{ lt}}{2m} \quad (2)$$

Donde:

y= volumen de agua existente

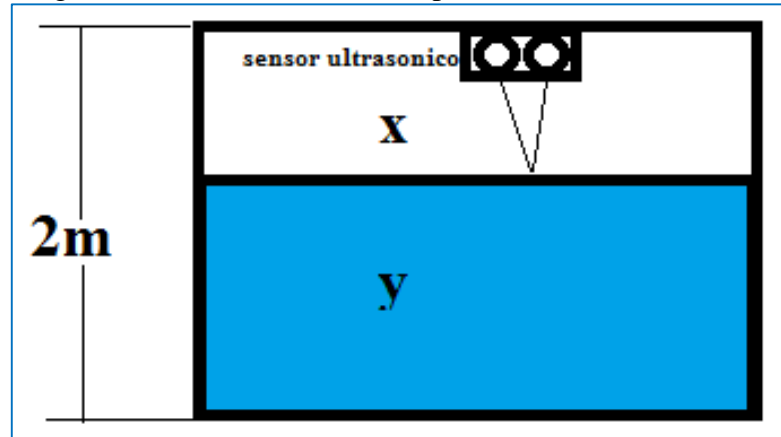
x= distancia medida por el sensor

2m= altura máxima del tanque y donde se posicionara el sensor

18000lt= capacidad total del tanque

Con dicha fórmula se procede al cálculo del volumen existente en el tanque de almacenamiento

Figura 5-4. Posición del sensor para el cálculo de volumen



Fuente: Autores

**4.1.2.3** *Instalaciones del servomotor a la válvula de globo.* Para la apertura gradual de la válvula de globo se realizó un acople entre la válvula y un servomotor.

El principio de funcionamiento es de abrir o cerrar gradualmente dicha válvula comandado por los datos recibidos del sensor de nivel según el volumen de agua existente en el tanque de almacenamiento y controlar el flujometro el mismo que controla la cantidad de cloro que cae al tanque donde va desde 1,2 a 3,2 lpm, para lograr obtener una concentración cloro 1mg/l según la norma INEN 1108.

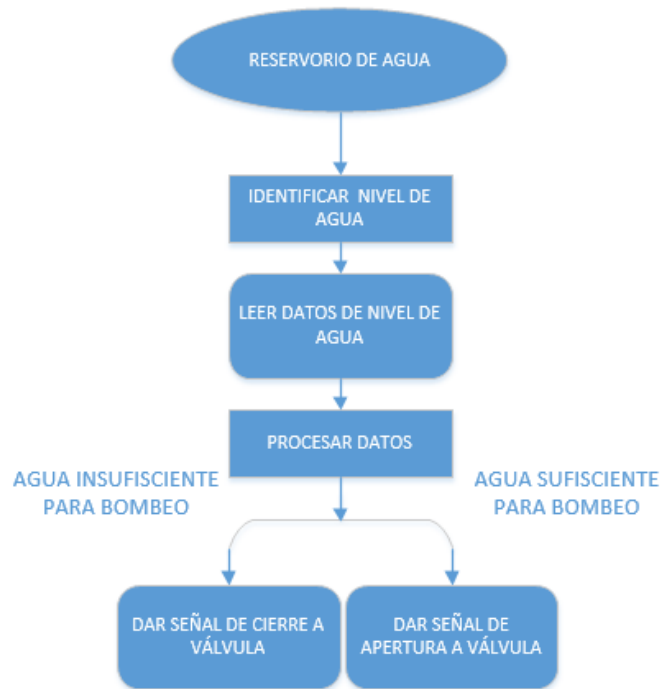
Figura 6-4. Instalación del acople y montaje en el sistema



Fuente: Autores

**4.1.2.4 Instalaciones del Arduino mega.** Es el dispositivo que procesara y manipulara el funcionamiento del sistema. Es aquel que recibe los datos desde el sensor de ultrasonido, los procesa y ejecuta con el servomotor.

Gráfico 2-4. Metodología de la función que cumple el Arduino



Fuente: Autores

Para la proceso de datos se debe tomar en cuenta el cálculo anterior de cantidad de volumen en el tanque de almacenamiento y transformarlos en datos reconocibles para el Arduino, con dichos datos se procede a comandar al servomotor con grados de giro el cual trasforma a un movimiento físico en la válvula

Si se presenta la situación de no tener agua en dicho taque el servomotor cerrara totalmente la válvula y sobrepasar el volumen máximo procederá de la misma manera. Estas situaciones no se presentaran con frecuencia pero son medidas de seguridad que se planteó para la efectividad del sistema.

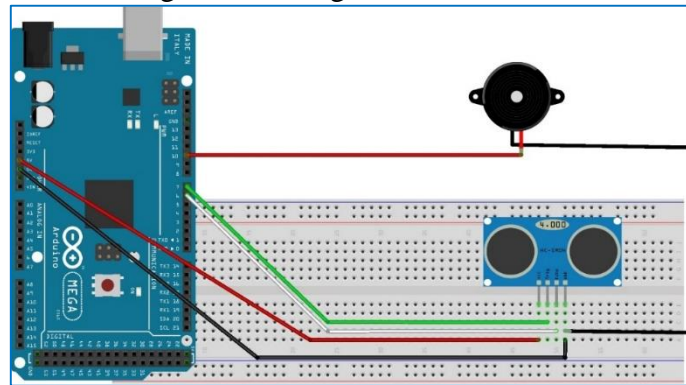
Tabla 1-4. Asignación de entradas y salidas del Arduino

Descripción	Entrada analógica o digital	Salida analógica, digital o pwm
Medidor de nivel	Entrada analógica	
Servomotor		Salida pwm (modulación de ancho de pulso)

Fuente: Autores

Tomando en cuenta dichos datos y parámetros se realizara una programación para lograr cumplir el propósito de automatización, dicha programación será sometidas a pruebas de funcionamiento.

Figura 7-4. Diagrama de conexión



Fuente: Autores

Figura 8-4. Conexión de elementos



Fuente: Autores

Una vez aprobadas las pruebas de funcionamiento se implementa para las pruebas de campo para su calibración

Figura 9-4. Instalación de elementos para la automatización



Fuente: Autores

**4.1.2.5 Pruebas de campo del sistema automatizado del clorado.** Una vez instalado los elementos fundamentales para la cloración se sometieron a pruebas de funcionamiento en campo. Para la realización de la pruebas se notificó a toda la población del caserío para su colaboración. Se indicó que simulen el consumo agua durante los días de prueba pero no la ingieran, es decir que dejen fluir el agua pero no la consumen, ya que, si existe una mayor concentración de cloro en las tomas destinadas al consumo del usuario como lo establece la norma INEN 1108 será perjudicial para el mismo.

Para la dosificación se tomó en cuenta el cálculo de partes por millón ppm de cloro a partir de una concentración. Para el mismo se procede con los siguientes pasos.

- Verificar en el envase del cloro adquirido, la concentración de cloro
- Expresar la concentración de cloro en fracción decimal. “X” concentración % / 100 = Fracción Decimal (F.D.)
- Obtener las ppm de cloro libre en solución.  $F.D. \times 1,000,000 = “X” \text{ ppm}$ . Lo que significa que tenemos “X” ppm de cloro en cada envase del que partimos.
- Expresar las ppm que buscamos en mililitros (ml). “X” ppm de cloro que buscamos / “X” ppm que hay en cada envase = “X” ml de cloro lo que significa que se deben usar “X” ml de cloro por cada ml de agua para obtener las ppm de cloro que buscamos.
- Igualar mililitros de cloro por litros de de agua. “X” ml de cloro  $\times 1,000 \text{ ml}$  (1 Litro de agua) = “X” ml de cloro al “X”% de concentración en 1 litro de agua provee una solución de cloro “X” ppm.

Para el presente trabajo realizo de la siguiente manera deseando tener una concentración de 1 ppm de cloro en el tanque de almacenamiento

- 1) La etiqueta del envase de cloro dice 70% de concentración.
- 2)  $70 / 100 = 0,7$ (fracción decimal).

3)  $0,7 \times 1000000 = 700000$  ppm de cloro en el envase

4)  $1 / 700000 = 0,00000142$  ml de cloro

5)  $0,00000142 \times 1000 = 0,00142$  lt de cloro, para llevarlo a 15300 litros de agua.

6)  $0,00142 \times 15300 = 21,8$  lt de cloro de una concentración de 70% para que 15300 litros de agua tengan una concentración de cloro del 1 ppm de cloro

Para calibrar el sistema se realizó mediciones de concentración de cloro, para la toma de muestras se realizó con la ayuda de un clorímetro, en el cual se introduce la muestra y posteriormente se añade la solución OTO1 la misma que viene incluida con el clorímetro y se analizara el color del resultado.

Metodología de toma de muestra.

- Enjuagar 2 veces el recipiente para la muestra
- Llenar de agua hasta la señal
- Introducir 5 gotas de la solución OTO1
- Tapar el recipiente tomando en cuenta de no contaminar la muestra
- Agitar y esperar el resultado

Figura 10-4. Clorímetro y solución OTO 1



Fuente: Autores

Para la calibración del sistema se realizó las mediciones necesarias para llegar a los niveles óptimos para el consumo humano en los siguientes puntos:

- Tanque de almacenamiento
- Tanque de distribución
- Punto de consumo alto
- Punto de consumo medio
- Punto de consumo bajo.

Para la toma de las muestras se lo realizo en horas de la tarde y pasando 1 día después de su modificación de la dosificación, el cloro lleva solo 30 min para garantizar una desinfección satisfactoria, para realizar las muestras te tomo como holgura 24 horas para que el líquido vital fluya a través de todo el sistema y recolectar muestras más exactas.

Figura 11-4. Toma de muestras para medición de cloro



Fuente: Autores

Tabla 2-4. Recolección de tomas de muestras

N° muestra	Tanque de almacenamiento	Tanque de distribución	Punto de consumo más cercano	Punto de consumo intermedio	Punto de consumo más lejano.
1	0,99	0,72	0,73	0,61	0,11
2	1,1	0,7	0,74	0,7	0,33
3	1,0	0,8	0,8	0,55	0,2
4	0,98	0,9	0,7	0,5	0,3
CESTTA	1,1	0,8	0,1		

Fuente: Autores

Para la calibración se analizó las muestras para aumentar o disminuir la dosificación y poder mantener en los puntos de consumo en nivel óptimo como lo establece la norma INEN 1108.

Para la última muestra también se realizó con la ayuda de un photometro dicho instrumento también es un medidor de concentración de cloro para la utilización el mismo

se realizó gestión en la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (**EP- EMAPA-A**) porque las mediciones o adquisición del equipo es muy costoso, para la utilización de dicho instrumento debe realizarlo un técnico con conocimientos en la materia, y cabe recalcar que se realizó la gestión para tomar muestras más exactas y verídicas porque el sistema está diseñado para el consumo humano.

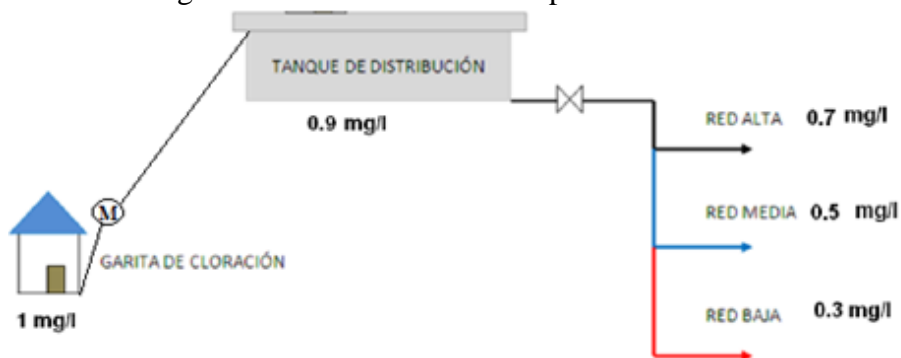
Figura 12-4. Photometro AquaPRO



Fuente: Autores

En la última muestra indica los rangos de concentración de cloro que va de 0,3 a 1 mg/l que son aceptados para el consumo humano. Para aumentar la fiabilidad de la muestra se realizó un análisis de cloro residual libre en CESTTA, mismo que se encuentran en el anexo A

Figura 13-4. Resultados en los puntos de muestreo



Fuente: Autores

**4.1.3** *Control del nivel de pastillas en el dosificador.* Se procede al diseño de un sistema indicador de la cantidad de pastillas existentes en la cloradora para ser dosificado, dicho sistema se diseñó para visualizar solo con indicadores luminosos la cantidad de pastillas de cloro y enviar una notificación al momento que se encuentre en un nivel mínimo de pastillas



**4.1.3.1** *Instalación del sistema medidor de pastillas de cloro.* Es esencial conocer la cantidad de pastillas que se encuentran para dosificar. Por la naturaleza del clorador se procedió a diseñar un sistema para identificar la cantidad de pastillas existente.

Se procedió a realizar un clon de pastilla, es decir una pastilla falsa en la cual contendrá elementos magnéticos para su detección.

Figura 14-4. Pastilla falsa para marcar el nivel



Fuente: Autores

A lo largo del dosificador se instaló sensores inductivos los cuales al pasar la pastilla falsa a lo largo del dosificador ira dando señal de presencia y enviando dicha señal hacia el Arduino el cual procesa y encenderá luces indicadoras.

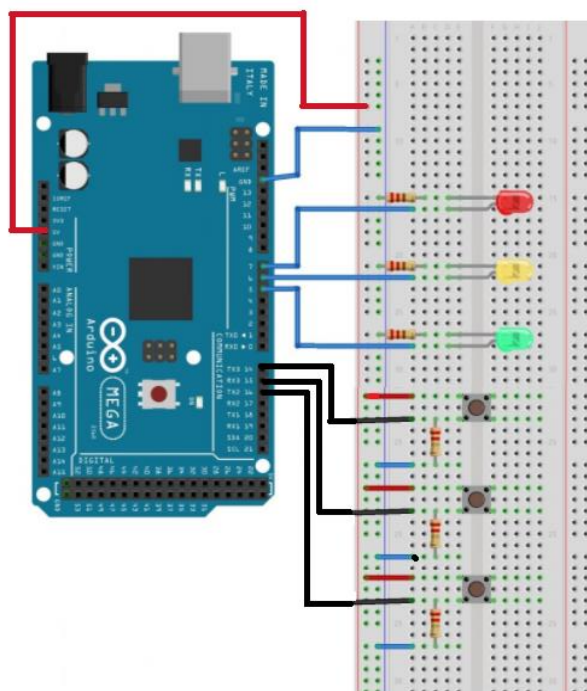
Figura 15-4. Instalación de sensores inductivos para detección de nivel



Fuente: Autores

Al irse diluyendo las pastillas la pastilla falsa ira descendiendo activando los sensores los cuales indicara en qué nivel se encuentran y el Arduino procesara la señal y dará como resultado si se encuentra en el 50% (foco verde), 25%(foco azul) o 10%( foco rojo) el cual es un nivel crítico y se debe recargar.

Figura 16-4. Diagrama de instalación



Fuente: Autores

Tabla 3-4. Asignación de entradas y salidas del Arduino

Descripción	Entrada analógica o digital	Salida analógica, digital o pwm
Medidor de nivel 50%	Entrada digital	
Medidor de nivel 25%	Entrada digital	
Medidor de nivel 10%	Entrada digital	
Led indicador verde		Salida digital
Led indicador azul		Salida digital
Led indicador rojo		Salida digital

Fuente: Autores

Tomando en cuenta dichos datos y parámetros se realizara una programación para lograr cumplir el propósito de automatización, dicha programación será sometidas a pruebas de funcionamiento.

**4.1.3.2 Pruebas de funcionamiento.** Se realizó la prueba de la identificación del nivel de pastillas y activación de sus indicadores luminosos.

Se procedió a insertar la pastilla falsa en el dosificador e ir verificando la presencia de la misma en los diferentes niveles e ir visualizando los indicadores luminosos.

Figura 17-4. Pruebas de pastilla falsa



Fuente: Autores

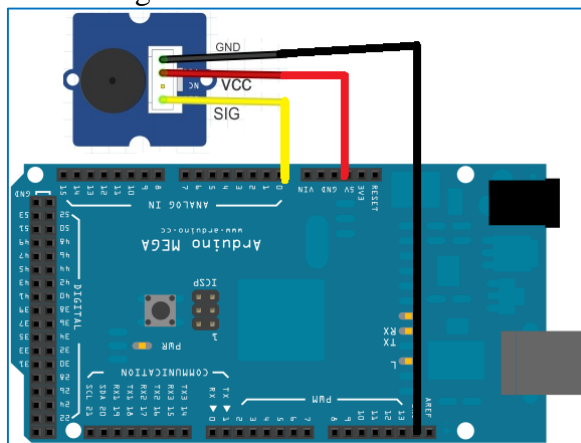
Figura 18-4. Indicadores luminosos



Fuente: Autores

**4.1.4** *Sensor de control de oxígeno.* El sensor de oxígeno va a medir la calidad del aire que se encuentra en el ambiente del cuarto de máquinas o garita de clorado donde se encuentra el sistema de cloración además es por seguridad, ya que el cloro emite gases nocivos que pueden afectar a la salud del encargado de abastecer de pastillas y monitorear, en conclusión el sensor de oxígeno es aquel que reconocerá alguna anomalía en el almacenamiento de las pastillas de clorado o en su excesiva dosificación.

Figura 19-4. Diagrama de conexión del sensor de oxígeno



Fuente: Autores

**4.1.5** *Monitoreo inalámbrico del sistema automatizado de clorado.* Se realizó el monitoreo inalámbrico del sistema con el fin de que el encargado no tenga la necesidad de dirigirse a la garita de clorado para el monitoreo del sistema, se implementó el sistema inalámbrico con la ayuda de elementos denominado Xbee y el monitoreo con una pantalla nextion.

Como se mencionó anteriormente para el monitoreo se desarrolló un elemento inalámbrico móvil, es decir que el encargado puede llevar el dispositivo y energizarlo para la visualización del sistema, cabe recalcar que para la conexión del sistema el dispositivo para el monitoreo inalámbrico debe estar dentro del rango establecido por el fabricante que es 120m

**4.1.5.1** *Desarrollo del sistema inalámbrico.* El sistema inalámbrico se desarrolló con los dispositivos denominados Xbee los cuales al ser instalados, uno en el sistema de clorado y otro en el sistema de monitoreo se conectan inalámbricamente.

- **Metodología de funcionamiento**

Los dispositivos Xbee fueron diseñados con la finalidad de enviar y recibir información de los dispositivos Arduino en los que fueron acoplados, pero con una metodología tipo clon es decir si se envía un dato en el primer dispositivo denominado en este caso como emisor, lo lee el emisor y el segundo dispositivo denominado receptor también lo lee de forma simultánea, esa es la característica primordial del elemento Xbee.

Para poder cumplir correctamente su funcionalidad dichos dispositivos deben ser apareados para que se comuniquen solo entre ellos.

- **Configuración de dispositivos Xbee**

Para la configuración del dispositivo Xbee se debe tomar en cuenta que existe dos formas de configurar, en modo AT y en API.

El modo AT es el más común ya que se lo utiliza para el envío y recepción de datos sin tomar en cuenta otras acciones que puede realizar dicho dispositivo, para el emparejamiento solo se debe establecer un código ID.

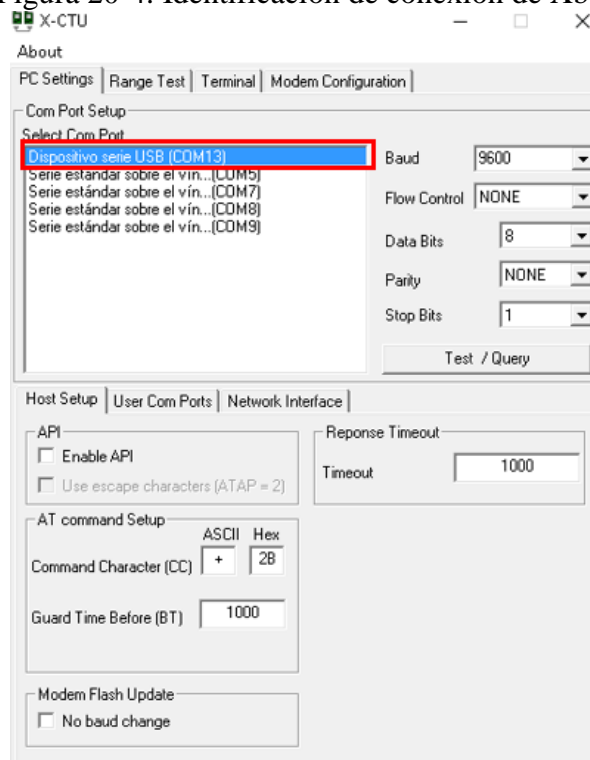
Se seleccionó el modo AT tomando en cuenta un posible futuro fallo de uno de ellos, para realizar la nueva conexión solo se configuraría el nuevo dispositivo Xbee con el mismo ID.

Los dispositivos al ser de envío y recepción de datos no es necesario establecer cuál es el emisor y cuál es el receptor, solo se debe establecer su conexión.

Para realizar el apareamiento de los dispositivos Xbee se realizó con la ayuda de un software denominado X-CTU que es de fácil instalación y es software libre, para el cumplir con el objetivo se realiza los siguientes pasos:

Se abre X-CTU y se conecta el dispositivo Xbee en forma USB, se identifica su conexión mediante la pantalla de visualización del software como se muestra el puerto COM 13, en la pestalla de PC settings.

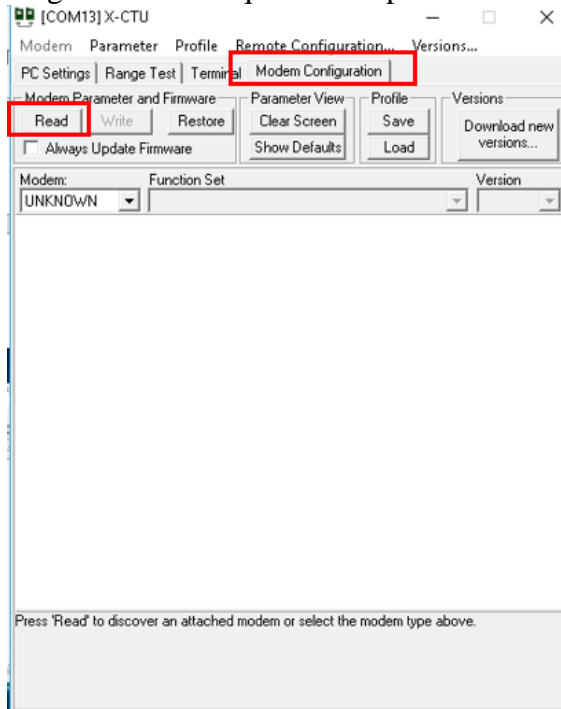
Figura 20-4. Identificación de conexión de Xbee



Fuente: Autores

Se selecciona la pestaña Modem Configuración y se da clic en Read para que el software lea el dispositivo conectado automáticamente el tipo de modem, conjunto de función y versión.

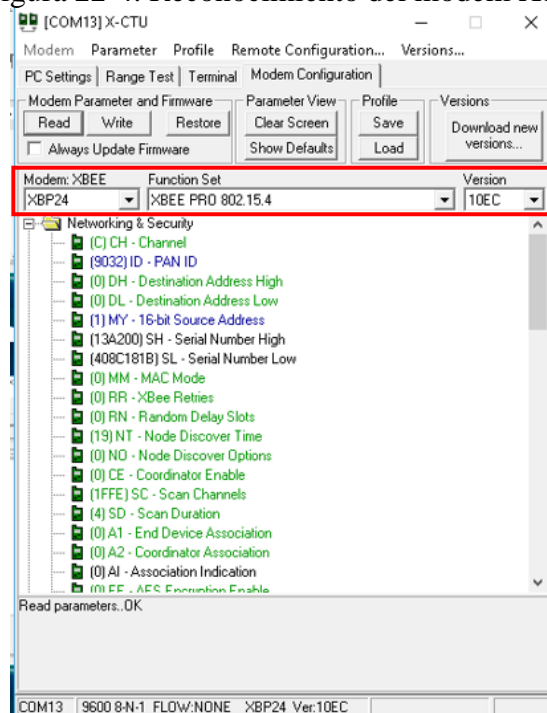
Figura 21-4. Búsqueda del tipo de modem



Fuente: Autores

Una vez identificado el modem (XBP24), y el Function Set se desplegara un listado de configuraciones las cuales se debe seleccionar la carpeta de Networking y Security en la que se encuentra el parámetro de configuración PAN ID

Figura 22-4. Reconocimiento del modem Xbee

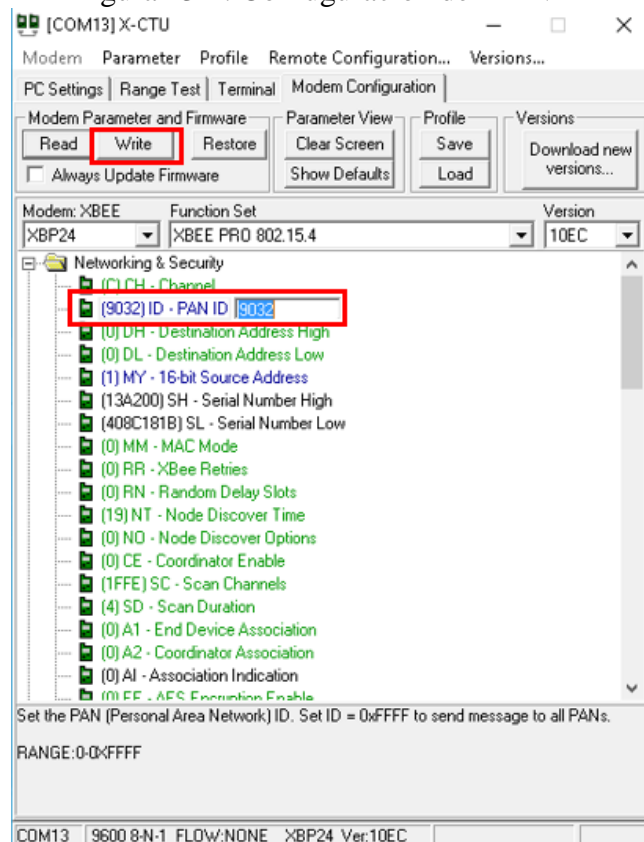


Fuente: Autores

Ya identificado el parámetro PAN ID se procede a cambiarlo no es ningún número en específico solo se debe tomar en cuenta que sean solo números y colocar el mismo número en los dos dispositivos Xbee, para el presente caso se introdujo el número “9032”, los demás parámetros se mantienen sin ser modificados.

Una vez modificado el ID se da clic en el botón Write para que se guarde las modificaciones.

Figura 23-4. Configuración del PAN ID

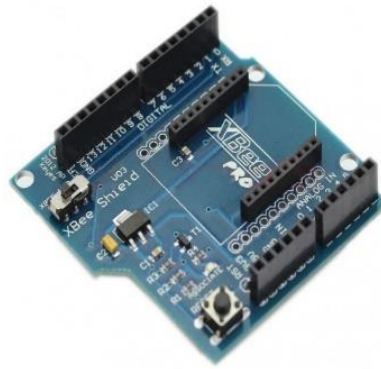


Fuente: Autores

Se realiza el mismo procedimiento en el otro dispositivo Xbee, si fuera el caso de un reemplazo de dispositivo se procede de la misma manera.

Una vez configurados se procede al su montaje en la placa Arduino, para el acople Arduino – Xbee en necesario contar con un adaptador por el motivo que el Xbee cuenta con pines demasiado pequeños y un voltaje de alimentación 3,3 v dc el motivo por el cual es necesario un adaptador denominado Shield Xbee el mismo que cumple la función de proteger el Xbee en su funcionamiento.

Figura 24-4. Shield Xbee



Fuente: <https://goo.gl/FXCkGc>

**4.1.5.2 Monitoreo.** El sistema de monitoreo se realizó con la ayuda de una pantalla táctil nextion NX3224T028 en la cual se visualizara la cantidad de agua que se encuentra en el tanque de almacenamiento, el valor de oxígeno que se encuentra en el ambiente de la garita de clorado, la cantidad de pastillas de cloro.

- **Metodología de monitoreo**

El encargado de monitorear el sistema al momento de energizar el dispositivo denominado receptor, en la pantalla se visualizara en tiempo real el funcionamiento del sistema automatizado de clorado, se monitoreara factores como: volumen de agua, valor de oxígeno que se encuentra en la garita de clorado, cantidad de pastillas de cloro en porcentaje.

- **Configuración de pantalla nextion**

Para la visualización de datos se procedió a la configuración de la pantalla con la ayuda de un software denominado Nextion editor open source, en el cual se desarrollara un HMI interfaz hombre máquina. Gracias a las características del dispositivo se desarrolló con elementos interactivos y coloridos. Para la configuración del HMI se procede de la siguiente manera:

En primer lugar se elaboró una pantalla de presentación, en la cual contara el tema del trabajo de titulación, el lugar donde se desarrolló y los responsables del proyecto, en la misma se adiciono un botón en la cual al pulsar direcciona a una pantalla en la cual se encuentran los parámetros a monitorear.



Figura 25-4. Configuración de pantalla principal



Fuente: Autores

En la siguiente tabla se describe los códigos que se presentan resaltados en amarillo, todos los elementos insertados van a ser programados en la pantalla pero no en el Arduino que comandara

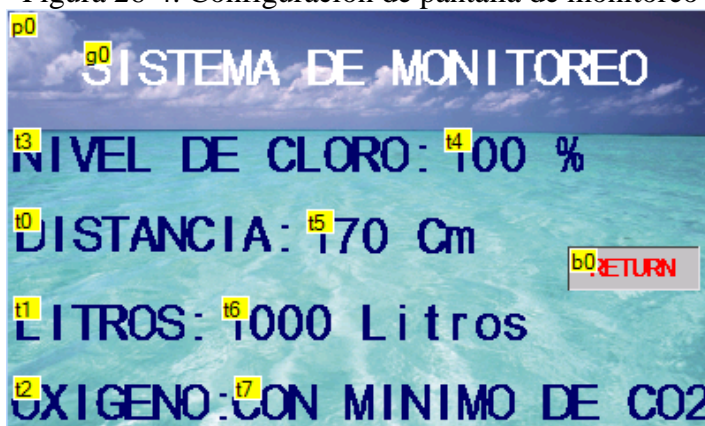
Tabla 4-4. Listado de códigos de la pantalla principal

Código	Característica	Descripción
p0	Imagen insertada	Sello de la ESPOCH
g0	Texto	Escuela de Ingeniería Industrial
t0	Desplazamiento de texto o variar según programación	Realizado por:
t1	Desplazamiento de texto o variar según programación	Jonathan Santos Gabriel Pilataxi

Fuente: Autores

En la pantalla de monitoreo se introduce los nombres y datos bases que van a ser monitoreados.

Figura 26-4. Configuración de pantalla de monitoreo



Fuente: Autores

En la siguiente tabla se describe los códigos que se presentan resaltados en amarillo, todos los elementos insertados van a ser programados en la pantalla pero algunos van a ser insertados en el Arduino que comandara.

Los códigos que si serán insertados al momento del monitoreo van a variar según como se desarrolla el sistema.

Tabla 5-4. Listado de códigos de la pantalla de monitoreo

Código	Característica	Descripción	Agregar en Arduino
p0	Imagen insertada	Fondo de pantalla azul	No
g0	Texto	Sistema de monitoreo	No
b0	Botón/ pulsador	Return/retorno	No
t0	Desplazamiento de texto o variar según programación	Distancia	No
t1	Desplazamiento de texto o variar según programación	Litros	No
t2	Desplazamiento de texto o variar según programación	Oxigeno	No
t3	Desplazamiento de texto o variar según programación	Nivel de cloro	No
t4	Desplazamiento de texto o variar según programación	100%	Si
t5	Desplazamiento de texto o variar según programación	170 cm	Si
t6	Desplazamiento de texto o variar según programación	1000 Litros	Si
t7	Desplazamiento de texto o variar según programación	Con mínimo de CO2	Si

Fuente: Autores

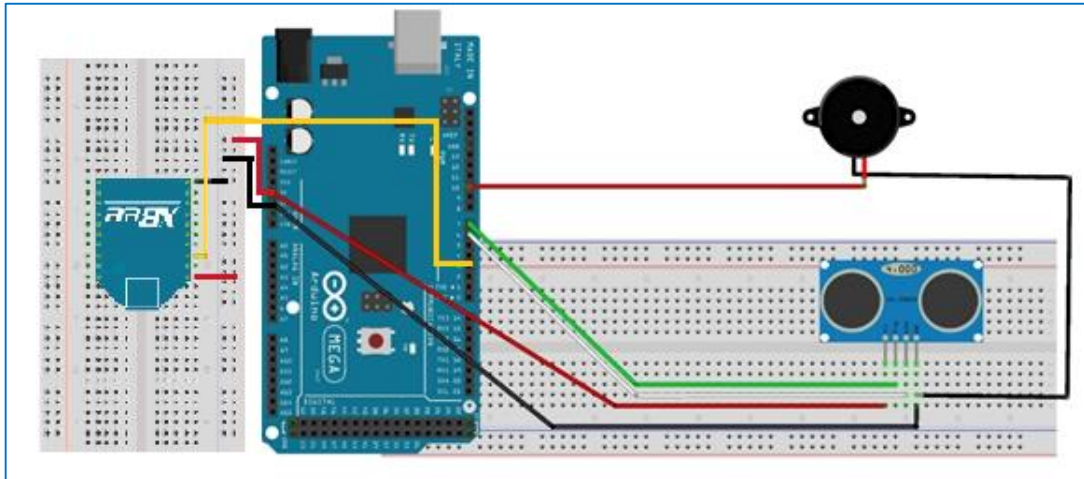
**4.1.5.3** *Conexión del sistema de monitoreo inalámbrico.* Una vez configurados los dispositivos Xbee y pantalla, se procede a su conexión, tomando en cuenta que el sistema contara con una parte denominada emisora la cual se encontrara en la garita de clorado y otra parte denominada receptora la cual es un elemento móvil.

- **Dispositivo emisor**

Denominado emisor el dispositivo que se encuentra en la garita de clorado el cual se encarga de leer los datos, procesarlos y enviarlos, para la conexión del dispositivo se toma en cuenta el siguiente diagrama.

Dicho dispositivo trabajara normalmente en la garita de clorado, del elemento Xbee solo cumplirá la función de enviar los datos, señales y todo lo que envía y recibe el Arduino emisor, como se explicó con anterioridad el dispositivo Xbee clonara al Arduino.

Figura 27-4. Diagrama eléctrico del dispositivo emisor

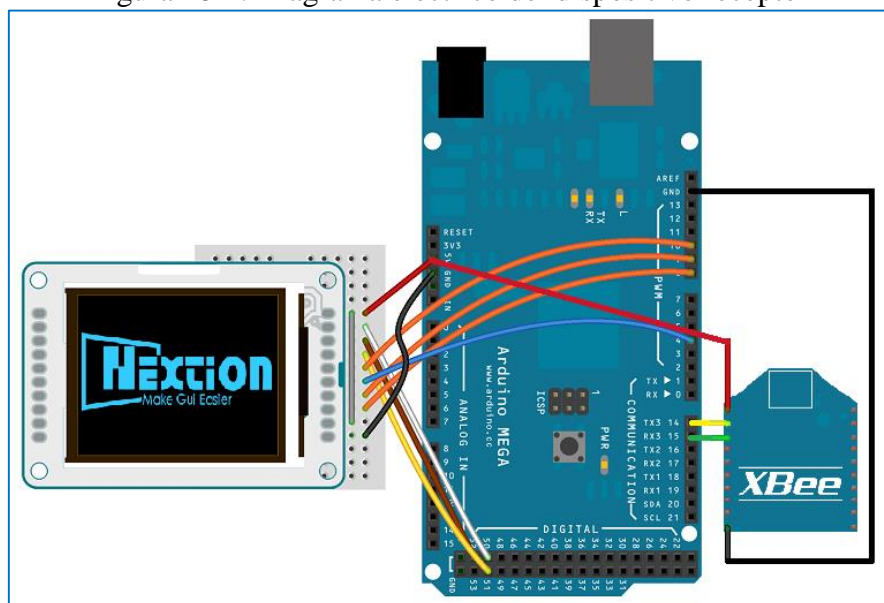


Fuente: Autores

- **Dispositivo receptor**

Denominado receptor al dispositivo móvil en el cual se monitoreara el funcionamiento del sistema sin la necesidad de dirigirse a la garita de clorado, para la conexión del dispositivo se toma en cuenta el siguiente diagrama.

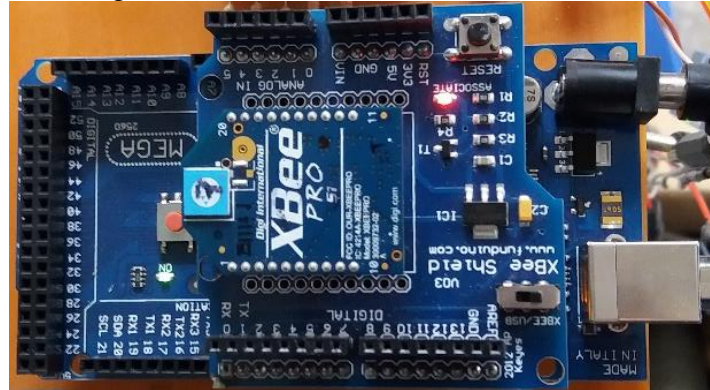
Figura 28-4. Diagrama eléctrico del dispositivo receptor



Fuente: Autores

**4.1.5.4 Pruebas de funcionamiento.** Una vez realizado las conexiones se procedió a energizar el dispositivo receptor o sistema de monitoreo se visualiza la variación de los datos según como se va desarrollando el sistema de clorado. Una vez cubiertas todas las pruebas de funcionamiento están listos para ser instalados.

Figura 29-4. Conexión del elemento emisor



Fuente: Autores

Figura 30-4. Conexión del elemento receptor



Fuente: Autores

**4.1.6 Sistema de alerta de nivel de pastillas de cloro.** En el sistema de clorado automatizado el elemento principal son las pastillas de cloro, ya que, sin ellas el sistema pierde su funcionalidad, para tener conocimiento de la recarga de pastillas se diseñó un sistema de alerta cuando la cantidad de pastillas se encuentre en un 10% el cual es un nivel crítico y necesita de su pronta recarga.

El dispositivo móvil celular en la actualidad se ha convertido en una herramienta esencial para el ser humano y los dispositivos electrónicos acoplables al mismo son de gran utilidad en el área de automatización de procesos.

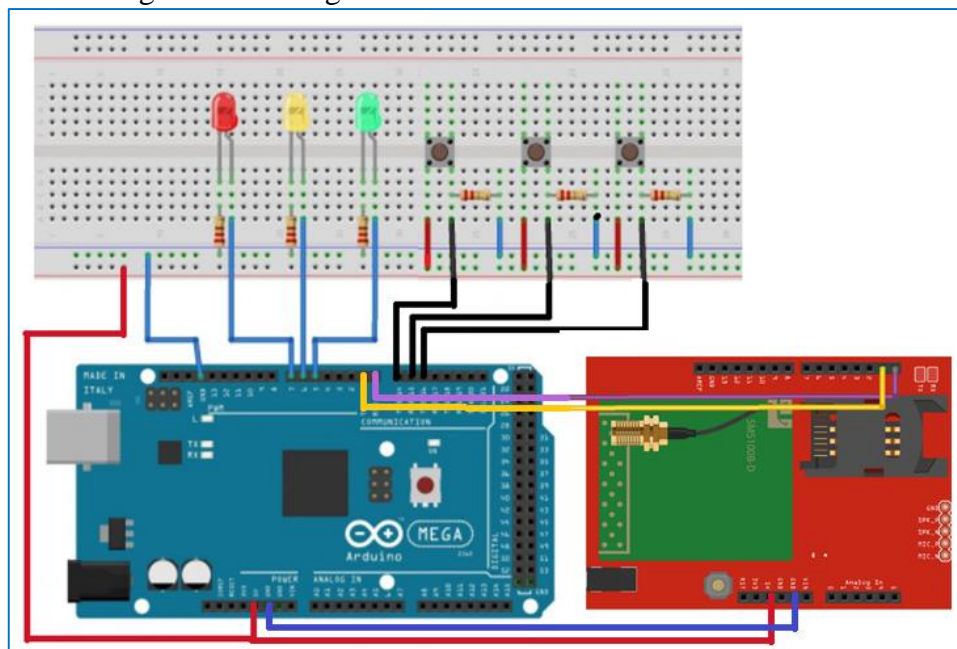
El motivo por el cual se diseñó el sistema de notificación por vía GSM/GPRS con la ayuda de la plataforma de Arduino

El sistema GSM/GPRS consta de mensajes de texto y llamadas, en este caso se descartó los mensajes de texto, el motivo por el cual fue descartado dicho método es que un mensaje se puede pasar lo alto y al momento de enviar el mensaje cubre un costo excesivo de saldo, en cambio una llamada es insistente y su costo es mínimo.

**4.1.6.1 Metodología para la notificación de alerta.** El momento en el cual el último sensor el que indica el 10 % de nivel de pastillas de cloro se activa procederá a encender el indicador luminoso rojo y procederá a realizar una llamada de alerta durante 60 seg, la cual está configurado el número celular del presidente del caserío.

Al sistema de control del nivel de pastillas en el dosificador se adiciona el shield SIM 900 el cual ayudara a cumplir la meta propuesta, al anterior conexión realizada se acopla dicha shield como se muestra el siguiente diagrama, y también se adicionara librerías a la programación, la misma que va a ser sometida a pruebas.

Figura 31-4. Diagrama eléctrico sensores de nivel-sim 900



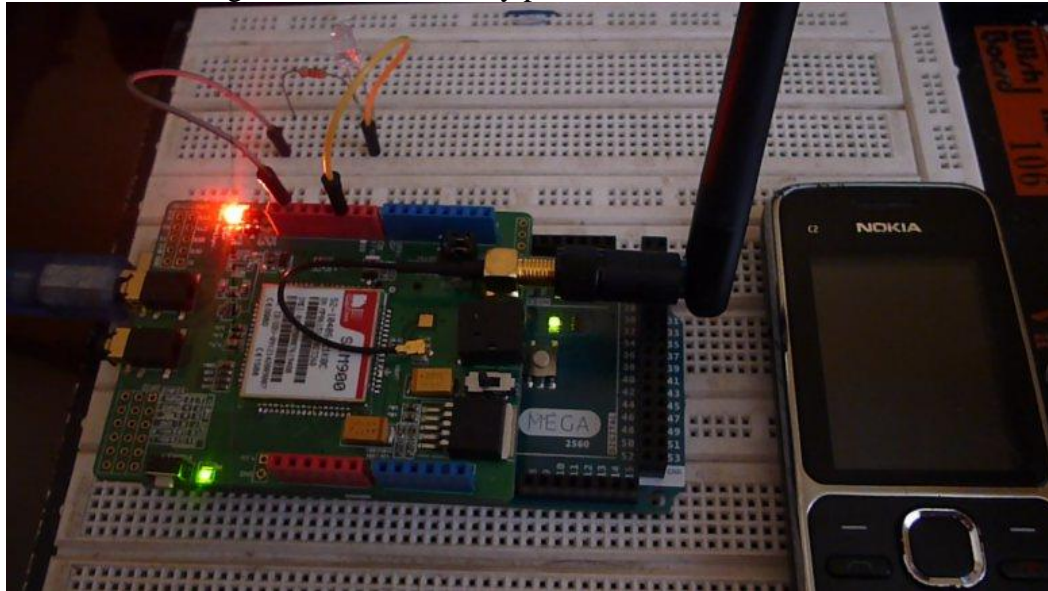
Fuente: Autores

**4.1.6.2 Pruebas de funcionamiento.** Se procede a realizar las pruebas de funcionamiento previo al montaje de la shield 900, recarga de saldo y activación, con la



ayuda de la pastilla falsa la misma que va a ir activando los sensores inductivos al instante que llega al último sensor activara el indicador luminoso rojo y a la par realizar una llamada de alerta notificando el nivel mínimo de pastillas.

Figura 32-4. Conexión y prueba de funcionamiento



Fuente: Autores

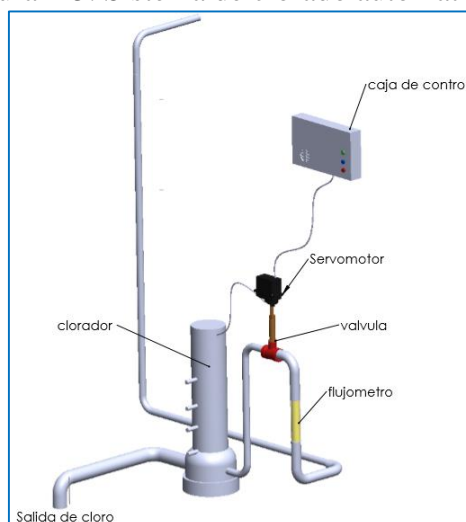
## CAPÍTULO V

### 5. INSTALACIÓN DE CAJA DE CONTROL, CAJA DE MONITOREO Y MANUAL DE MANTENIMIENTO

#### 5.1 Diseño final del sistema de cloración automatizado

Una vez hechas las pruebas de funcionamiento e identificados los dispositivos de emisión, recepción y alerta del sistema. Se procede a la instalación de la caja de control y caja de monitoreo.

Figura 1-5. Sistema de clorado automatizado



Fuente: Autores

Descripción del funcionamiento final del sistema de clorado automatizado. El sistema de control consta de dos elementos, elemento emisor y receptor.

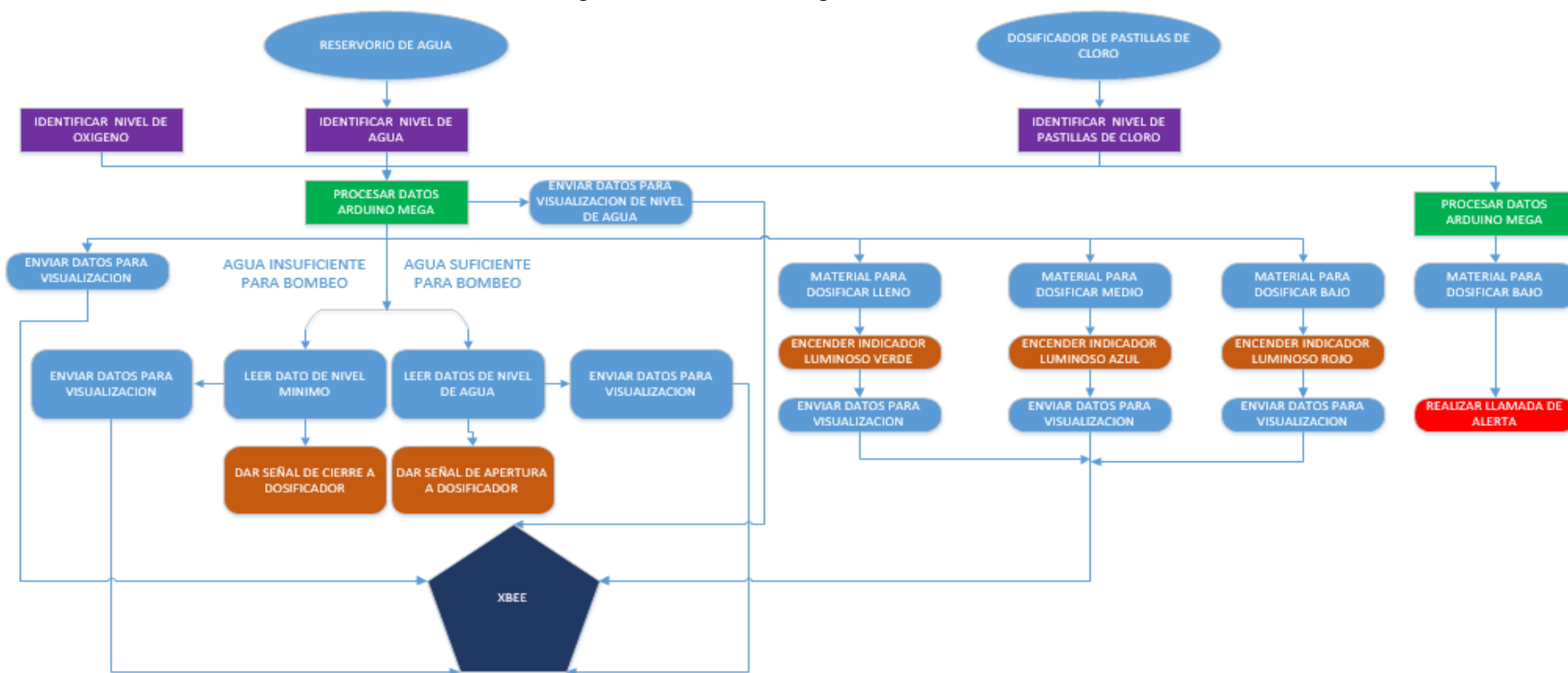
- **Elemento emisor**

El elemento emisor va a medir el volumen del agua, procesara el dato y ejecutara el cierre o apertura del servomotor.

Va a medir la cantidad de pastillas existentes en el dosificador, procesara el dato y ejecutara el encendido de luces indicadoras. Este sistema se conecta en paralelo para ejecutar la notificación de alerta.

Va a medir la cantidad del oxígeno existente en la garita de clorado. Los valores medidos de volumen de agua, cantidad de pastillas, oxígeno existente serán enviados hacia el elemento receptor.

Gráfico 1-5. Diagrama de la metodología de funcionamiento del emisor



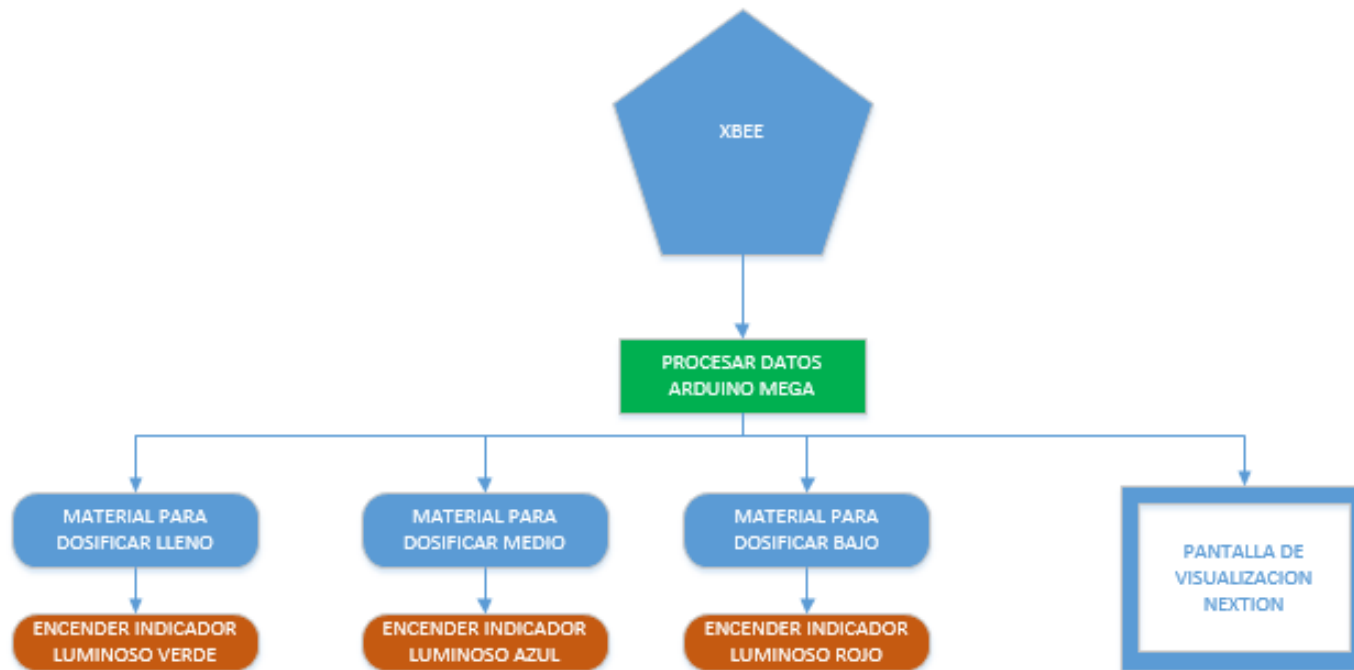
Fuente: Autores



- **Elemento receptor**

En el elemento receptor se procesara los datos y se visualizara en la pantalla, también se encenderá luces indicadoras según el porcentaje de pastillas de cloro.

Gráfico 2-5. Diagrama de la metodología de funcionamiento del receptor

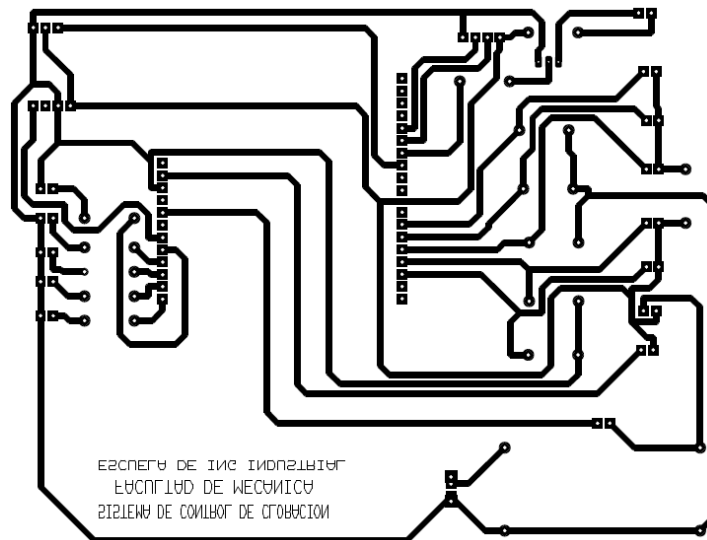


Fuente: Autores

**5.1.1** *Instalación de la caja de control.* Realizadas las pruebas se procede al montaje de la caja de control donde se encuentra el elemento emisor. Para la fiabilidad del sistema se procederá a la realización de placas donde se montara los elementos del sistema.

**5.1.1.1** *Elaboración de placas.* Se realiza el diseño de una placa con la ayuda de un software de diseño de circuitos electrónicos, donde se montara los elementos del sistema de cloración automatizado para mejorar el funcionamiento y fiabilidad.

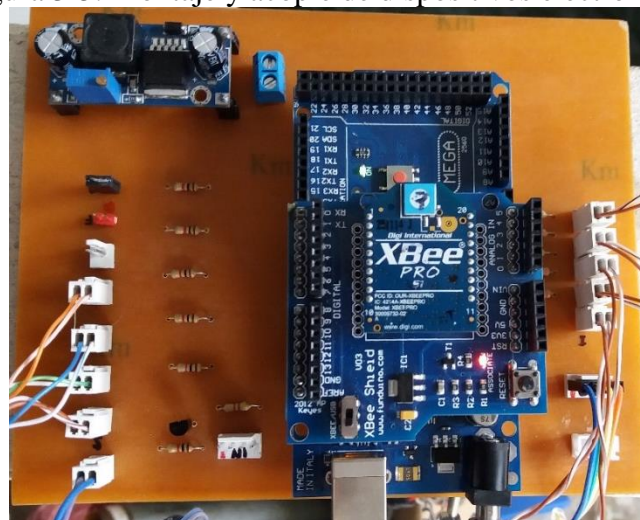
Figura 2-5. Diseño del circuito electrónico del elemento emisor



Fuente: Autores

Una vez realizado el diseño se procede a su fabricación y montaje de elementos

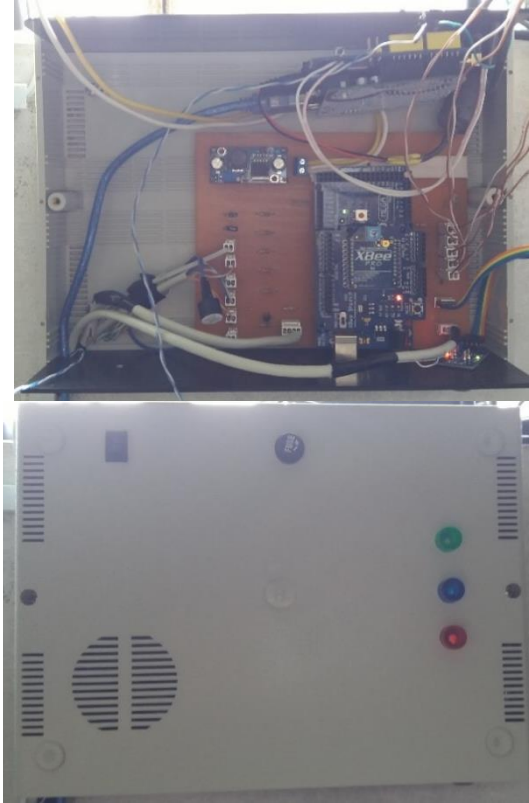
Figura 3-5. Montaje y acople de dispositivos electrónicos



Fuente: Autores

**5.1.1.2 Montaje de caja.** Una vez hecho la placa y montado todos los elementos se procede al montaje de la caja de control, dicha caja se empotro en la entrada de la garita de cloración para su mejor visualización.

Figura 4-5. Instalación de la caja de control



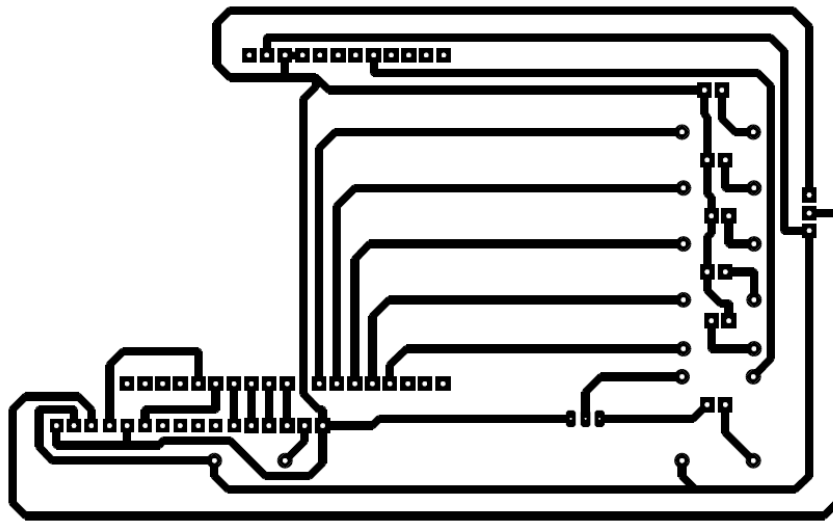
Fuente: Autores

**5.1.1.3 Programación.** Una vez cubierto todas las pruebas de funcionamiento se estableció una programación final, la cual es la que ejecutara el funcionamiento del sistema y el envío de la información, a la par se realizó una programación para la notificación de alerta. Ver anexo B

**5.1.2 Realización del monitoreo inalámbrico del sistema de clorado.** Realizadas las pruebas se procede a la realización de la caja de monitoreo donde se encuentra el elemento receptor. Para la fiabilidad del sistema se procederá a la realización de placas donde se montara los elementos del sistema.

**5.1.2.1 Elaboración de placa.** Se realiza el diseño de una placa con la ayuda de un software de diseño de circuitos electrónicos, donde se montara los elementos del sistema de monitoreo para mejorar el funcionamiento y fiabilidad.

Figura 5-5. Diseño del circuito electrónico del elemento receptor



Fuente: Autores

Una vez realizado el diseño se procede a su fabricación y montaje de elementos

Figura 6-5. Montaje y acople de dispositivos electrónicos



Fuente: Autores

**5.1.2.1 Programación.** Una vez cubierto todas la pruebas de funcionamiento se estableció una programación final, la cual es la que ejecutara el monitoreo del sistema y la recepción de la información. Ver anexo C



**5.1.3 Instalación de señalética.** Para salvar guardar la salud del encargado del sistema automatizado de clorado se implementó señalética indicando los elementos del sistema y las precauciones que debe tomar para su manipulación.

Figura 7 -5. Señalética



Fuente: Autores

Tabla 1-5. Señalética

Señalética	Característica	Denominación
	Obligatoriedad	Es obligatorio el uso de mascarilla
	Obligatoriedad	Es obligatorio el uso de mascarilla
	Prevención	Riesgo químico
	Prohibición	Prohibido operar sin autorización

Fuente: Autores

## 5.2 Manual de mantenimiento del sistema de clorado automatizado

**5.2.1 Operación.** El sistema de clorado automatizado opera de manera autónoma, es decir que se encuentre calibrado para medir la cantidad de agua existente en el tanque de almacenamiento y dosifica automáticamente la cantidad de cloro necesaria.

**5.2.2 Mantenimiento del sistema de clorado automatizado.** El sistema está conformado por varios elementos que deben tener un mantenimiento periódico para alargar su vida útil, se describe el modo correcto de operación y cuidados básicos en varios de estos componentes.

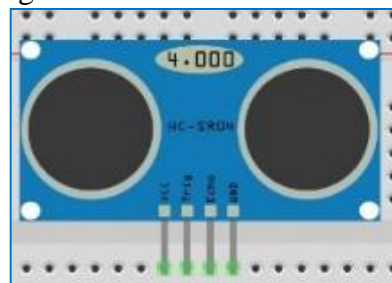
Se deben realizar mantenimientos preventivos para evitar en lo posible mantenimientos correctivos, una herramienta importante es el trabajo de inspección visual que está enfocado a reconocer el estado del sistema.

El mantenimiento se realizará directamente en los dispositivos de adquisición de datos como el sensor ultrasónico, sensor de oxígeno y en la caja de control del sistema.

A continuación, se menciona el mantenimiento en cada elemento.

**5.2.3 Mantenimiento del sensor ultrasónico.** El sistema está compuesto por un sensor ultrasónico el cual es el elemento principal del funcionamiento del sistema ya que si dicho elemento comienza a fallar, falla la dosificación.

Figura 8-5. Sensor de ultrasonido



Fuente: Autores

Se debe limpiar suavemente la parte frontal del sensor, ya que puede alojarse impurezas y entregar mediciones erróneas, también se debe limpiar su contorno de montaje para que no se acentúen insectos los cuales pueden afectar al mismo.

**5.2.4** *Mantenimiento del acople al servomotor.* La válvula controla el fluido de líquido al dosificador en el caso de que el servomotor falle el sistema de dosificación se descalibraría y entregara cantidades erróneas de cloro. En el sistema están implementado una válvula de globo con un acople a un servomotor.

Figura 9-5. Válvulas de bola y solenoides

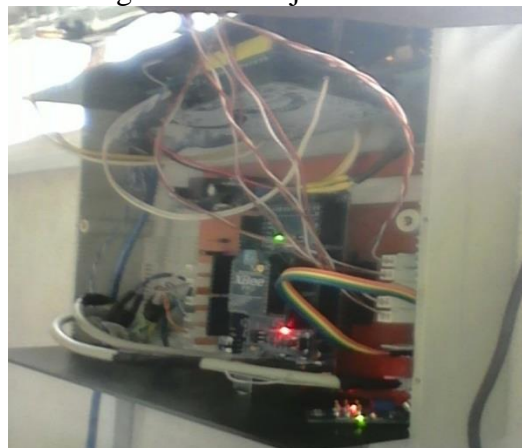


Fuente: Autores

Se debe visualizar la base donde se encuentra empotrado el servomotor y el acople realizado con la válvula de globo si se encuentran debidamente montados, es decir si sus sujeciones no se encuentran con juego o desajustadas

**5.2.5** *Mantenimiento de la caja de control o elemento emisor.* Se debe verificar que la caja de control se encuentra debidamente energizada y sus elementos debidamente conectados. Se debe identificar el funcionamiento en la titilación de los led que vienen integrados en las tarjetas Arduino e ir verificando el funcionamiento del sensor y del servomotor.

Figura 10-5. Caja de control



Fuente: Autores

#### **5.2.5.1**    *Problemas que pueden presentarse*

- Apagarse el Arduino
- No identifica los dispositivos de entrada y salida
- No realizar la llamada de alerta

#### **5.2.5.2**    *Posibles causas*

**Apagarse el Arduino.** Probable desconexión de la fuente de alimentación o si el Arduino se da reset solo, posiblemente este realizándose un corto circuito en su alimentación.

**No identifica los dispositivos de entrada y salida.** Se presentaría este problema por la desconexión en las borneras o polvo en el mismo.

**No realizar la llamada de alerta.** Posiblemente el sim 900 se encuentre desactivado, desenergizado o no tiene saldo en la tarjeta sim.

#### **5.2.5.3**    *Recomendaciones para el Mantenimiento*

Verificar las conexiones y soldaduras realizadas en la placa, revisar el estado de la fuente de alimentación.

Se debe realizar una limpieza del polvo que ingrese en la caja para que realice una conexión satisfactoria.

Revisar el estado de los cables de conexión, para eliminar un posible cortocircuito o desconexión.

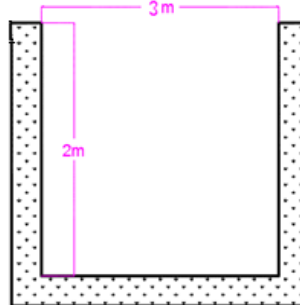
Se debe verificar que la tarjeta SIM 900 se encuentre activada, eso se verifica que con un led titilante en la tarjeta si el mismo no se encuentra encendido se procede a presionar el botón.

Verificar el saldo en la tarjeta sim que se encuentra instalada en el SIM 900, ya que sin saldo o crédito el dispositivo no funciona.



**5.2.6** *Mantenimiento en el tanque de almacenamiento.* El sistema implementado succiona agua directamente desde un tanque de almacenamiento.

Figura 11-5. Tanque de almacenamiento



Fuente: Autores

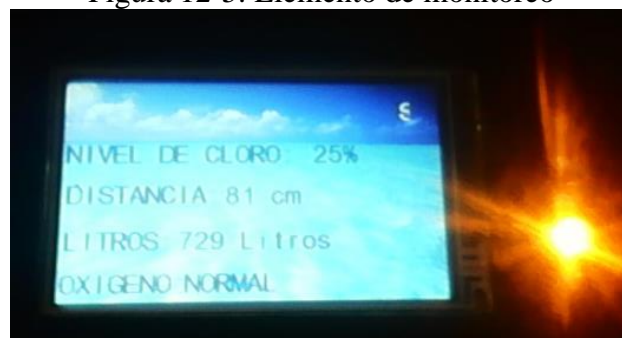
El tanque de almacenamiento se debe limpiar por lo menos una vez al mes para remover impurezas ocasionadas por tierra u otros materiales.

Si se nota desgaste en las paredes o piso se deberá reparar con cemento impermeabilizante.

Siempre se mantendrá cerrada la puerta del reservorio para evitar el ingreso de materiales que puedan contaminar el agua. Cuando se realice la limpieza del reservorio se inspeccionará el filtro a la entrada de la tubería de succión, si se nota que está desgastado se colocará un filtro nuevo.

**5.2.7** *Mantenimiento del elemento de monitoreo.* Es en donde están colocados los dispositivos electrónicos de monitoreo, es la parte con la cual se monitoreara el sistema de clorado automatizado e ir verificando la cantidad de pastillas.

Figura 12-5. Elemento de monitoreo



Fuente: Autores

Se debe identificar en la pantalla de monitoreo al momento de encenderla que los datos como el volumen o distancia varíen, de esa manera se identifica la funcionalidad de la conexión.

Si el elemento se prende y se apaga, se debe verificar las conexiones de energización y elementos montados en la placa, que no se encuentren en corto circuito.

Se debe realizar una limpieza de polvo que se puede alojar en la placa, y en las borneras, ya que el exceso de polvo dificulta su conectividad.

### 5.2.8 Consideraciones para el correcto funcionamiento del sistema.


Limpiar e identificar las conexiones, tanto de los elementos de entrada como de salida, conexiones y soldaduras en placas.

Verificar los cables si no se encuentran deteriorados para su pronto cambio o reforzar la soldadura.

Verificar que todos los elementos se encuentren encendidos y el sim 900 activado.

Verificar los acoples físicos que se encuentren debidamente ajustados y empotrados.

Tabla 2-5. Check List

				
REVISIÓN / MANTENIMIENTO				
Listado	OK	Revisar [días]	Mantenimiento [días]	Nota
servomotor		90	180	
Sensor ultrasonico		15	30	
Sensor de oxigeno		90	180	
Caja de control		30	60	
Caja de monitoreo inalambrico		30	60	
Tanque 200 lt		15	30	

Fuente: Autores

### 5.3 Costos de diseño y fabricación del sistema

Para la implementación del sistema se consideraron las mejores ofertas de los dispositivos a instalar, en base a su rendimiento y calidad. Los Costos directos corresponden a los elementos que influyen directamente en la instalación y los Costos Indirectos a los asignados a materiales y recursos secundarios.

#### 5.3.1 Costos directos

Tabla 3-5. Costos directos.

Ítem	Denominación	Unidad	Precio unidad	Precio [USD]
1	Clorador por pastillas	1	498,5	498,5
2	Flujometro 1/2" NTP 2-20LPM	1	175,25	175,25
3	Cloro en tabletas 50 Kg	50	8,95	447,50
4	Tanque de reserva 220 lt, flotador, adaptadores, llaves	1	180,50	180,50
5	Módulo XBEE	2	105	210
6	Sensores de nivel	3	18,66	56
7	Test analizador de cloro libre r511076 pentair	1	28,36	28,36
8	Configurador de Xbee	2	76	152
9	Servomotor de 12 kg	1	25	25
10	Acople de motor	1	36	36
11	Materiales varios (llaves, teplom, broca, tacos fisher, canaletas)	1	70	70
12	Tubería PVC ¾	4	2,6	10,4
13	Módulo GSM sim900	1	75	75
14	Chip claro	1	5	5
15	Sensor de oxígeno mq 135	1	28	28
16	Imanes de neodimio	6	4,5	27
17	Moldes de pastillas de cloro en madera	2	3	6
18	Cajas porta circuitos	2	22	44
19	Cable utp (metros)	8	0,4	3,2
20	Pantalla tft smart nextion 3.2"	1	80	80
21	Placas para quemar circuitos	4	1	4
22	Material menudo electrónico (led, interruptores, etc.)	1	36	36
23	Transporte alimentación	2	50	100
24	Pruebas microbiológicas	1	60	60
25	Ultrasónico	1	18	18
26	Arduinos	3	28	84
27	Fuentes etep down	2	18	36
Total			2495,71	

Fuente: Autores

### 5.3.2 *Costos indirectos*

Tabla 4-5. Costos Indirectos.

Ítem	Denominación	Precio [USD]
1	Pasajes de traslado	100
2	Asesoría técnica	50
3	Imprevistos	100
Total		250

Fuente: Autores

### 5.3.3 *Costo total*

Tabla 5-5. Costos totales

Ítem	Denominación	Precio [USD]
1	Costos directos totales	2495,71
2	Costos indirectos totales	250
Total		2745,71

Fuente: Autores

El costo de implementación del nuevo sistema de clorado automatizado es de USD 2745,71

## **CAPÍTULO VI**

### **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

Se determinó la situación actual del sistema y su condición, para su regeneración y sustitución de elementos obsoletos.

Se realizó el diseño de un sistema de clorado automatizado de fácil utilización y monitoreo con la selección adecuada de elementos de bajo costo y gran fiabilidad para su correcta funcionalidad.

Al ser un sistema desarrollado para el consumo humano se realizó pruebas de funcionalidad de todos los elementos, sometiéndolo a pruebas de campo antes de su instalación final, para asegurar su correcto funcionamiento se montó los elementos en placas de baquelita fenólica. Una vez cubiertas las pruebas de campo se procedió a su instalación final.

Para las calibraciones del sistema se procedió a la toma de muestras de concentración de cloro las cuales se calibro acorde a la norma INEN 1108, valores de 1,1 mg/l en la casa de máquinas o garita de clorado, 0,8 mg/l en el tanque de distribución y de 0,7 a 0,3 mg/l en la red de distribución según los análisis que se realizaron en el CESTTA.

#### **6.2 Recomendaciones**

Se debe realizar un mantenimiento preventivo a los tanques y tuberías para su conservación.

Para la manipulación del sistema solo debe realizarlo el encargado, ya que él se encuentra capacitado, una inadecuada manipulación del sistema se descalibraría y se obtendría una dosificación errónea que perjudicaría a la comunidad.

Para la correcta funcionalidad del sistema de clorado automatizado se debe tomar en cuenta el manual mantenimiento preventivo realizado.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS.** *El agua potable segura es esencial*. [En línea] 2007. [Consulta: 07 de enero de 2017.] Disponible en: <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Chemical-Disinfection-Oxidants-technologies.html>.

**ARQHYS.** *Sistema de agua potable*. [En línea] 2012. [Consulta: 07 de abril de 2017.] Disponible en: <http://www.arqhys.com/arquitectura/agua-sistema.html>.

**BERDONCES, Jose.** "La problemática del tratamiento de agua potable". *Medicina Naturista*, Vol. 2, n° 2 (2008), (España) pp. 69-75.

**CALDAS, Electronica.** *EL-1602A*. [En línea] 2016. [Consulta: 07 de febrero de 2017.] Disponible en: <http://www.electronicoscaldas.com/displays-lcd-alfanumericos-y-graficos/131-display-lcd-16x2-el-1602a.html>.

**CARDENAS, Daniel L & PATIÑO, Franklin.** *Sistema de Abastecimiento de Agua Potable*. (tesis)(Ingeniería). Universidad de Cuenca. Facultad de Ingeniería. Ecuador: 2011. pp 46-48. [Consulta: 23 de Febrero de 2017.] Disponible en: <https://canaleslicla.files.wordpress.com/2013/10/capitulo2.pdf>

**CHAUCA, Alex & OROZCO, Lenin.** *Diseño e Implementación de un sistema automatizado para la dosificación del cloro en el tratamiento de agua potable en la comunidad San Vicente de Lacas*. (tesis) (Ingeniería). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo-Facultad de Ingeniería, Ecuador : 2012. pp 36-38. [Consulta: 23 de Febrero de 2017.] Disponible en: <http://repo.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/26438/1/Tesis-180%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20531.pdf>

**COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA.** *Manual de cloración y de plantas potabilizadoras*. Guanajuato. [En línea] 2017. pp 16-18. [Consulta: 23 de Marzo de 2017.] Disponible en: <http://blog.condorchem.com/historia-sobre-el-tratamiento-del-agua-potable/>

**ELECTRONICS.** Sensor de Gas MQ135. *HD Eletronics*. [En línea] 2016. Disponible en: [http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/sensor-de-gas-mq1352016-02-08-04-34-49\\_-detail](http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/sensor-de-gas-mq1352016-02-08-04-34-49_-detail).

**FIGUEROA, Ivone.** *Indicadores básicos en la gestión de empresas de servicios de agua potable y alcantarillado del Ecuador*. (tesis)(Ingeniería). Universidad Central del Ecuador-Facultad de Ingeniería, Ciencias Física y Matemática.. Ecaudor. 2015. pp 36-38. [Consulta: 2 de Febrero de 2017.] Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5413/1/T-UCE-0011-110.pdf>

**HIDRITEC.** *Sistemas de Cloración*. [En línea] 2016. [Consulta: 07 de 04 de 2017.] Disponible en: <http://www.hidritec.com/hidritec/sistemas-de-cloracion>.

**INEC.** *IndexMundi*. [En línea] 2015. [Consulta: 07 de Abril de 2017.] Dponible en:  
Dponible en: [http://www.indexmundi.com/es/ecuador/tasa\\_de\\_crecimiento.html](http://www.indexmundi.com/es/ecuador/tasa_de_crecimiento.html).

**OMS.** *Organización Mundial de la Salud*. [En línea] 2016. [Consulta: 07 de Abril de 2017.] Dponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>.

**PERÉZ, Diego.** *Sensores de distancia por ultrasonidos*. [En línea] 2015. [Consulta: 07 de Abril de 2017.] Dponible en: Dponible en: [http://picmania.garcia-cuervo.net/recursos/redpictutorials/sensores/sensores\\_de\\_distancias\\_con\\_ultrasonidos.p](http://picmania.garcia-cuervo.net/recursos/redpictutorials/sensores/sensores_de_distancias_con_ultrasonidos.pdf)  
df.